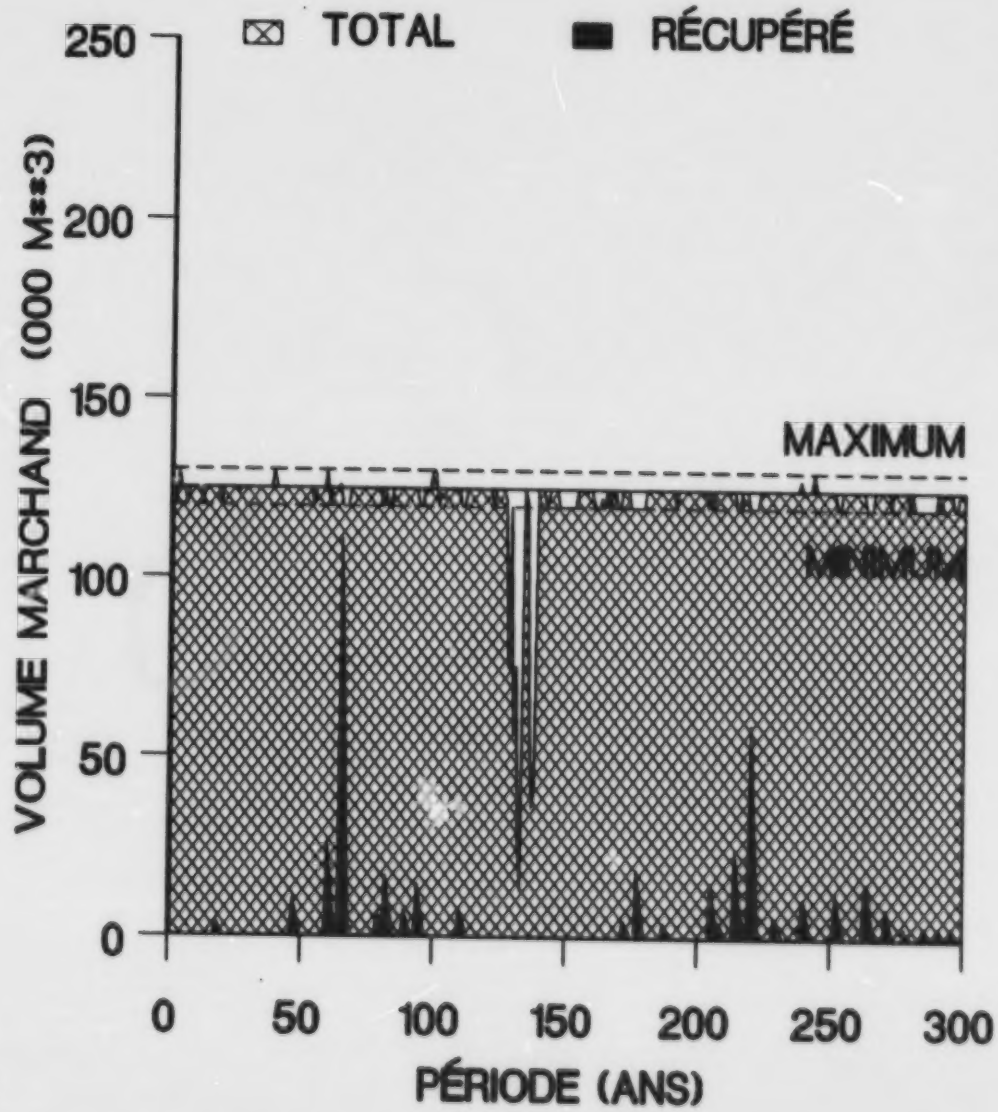
FIRFOR — un modèle simple
pour l'aménagement forestier



88-04086/

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa, comme celui des autres établissements du Service canadien des forêts, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des activités des programmes menés à l'Institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessitent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales du Service canadien des forêts. La plupart du temps, ses recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux, des services forestiers des provinces et de l'industrie forestière.

Les projets de recherche et les services techniques de l'Institut sont regroupés sous cinq principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE — Ce programme encadre des projets sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à la clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Ce centre existe depuis longtemps et est lié à plusieurs organismes internationaux.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER — Ce programme intègre en recherche et développement, des projets sur les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance et la récolte, et le RIMA. Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LES RESSOURCES FORESTIÈRES — Ce programme fournit l'information biologique, technique et socio-économique sur les ressources forestières du Canada. Il vise le développement des bases de données, telle que FIDSINFOBASE, et l'établissement de nouveaux logiciels et bases de données pour aider à l'élaboration des politiques forestières. Le Programme d'inventaire forestier recueille l'information sur les forêts au niveau national, maintient le Système sur les ressources forestières canadiennes, et prépare l'inventaire des forêts du Canada.

COMMUNICATIONS — Ce programme regroupe les activités de la bibliothèque et des projets touchant la sensibilisation du public, l'information, la rédaction-révision et les publications. L'Institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt et le centre de distribution nationals de toutes les publications scientifiques du SCF.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE — Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre de projets de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 98 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Ces plantations expérimentales permettent d'obtenir des données sur la croissance et la récolte à la suite d'expériences de culture. Elles fournissent du matériel génétique dont le lignage est répertorié, et se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. La forêt permet également de mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long termes.

FIRFOR - Modèle simple d'aménagement forestier

Rapport d'information PI-X-72F

R.M. Newnham

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts

1987

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987
N° de catalogue Fo46-11/72-1987F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-94539-5

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Centre de distribution des publications
Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

N° de téléphone: 613-589-2880

This publication is also available in English under the title **FIRFOR - A simple forest management model.**

Table des matières

v Résumé/Abstract

1 Introduction

3 Données

3 La forêt
3 Détermination de la production
5 Prévision des incendies

7 Méthode

15 Résultats

42 Constatations et conclusions

44 Références

48 Annexe I
82 Annexe II

Tableau

42 1. Résumé des résultats des tests de 1 à 10 : moyennes annuelles et matériel forestier restant final

Figures

4 1. Courbes de production de l'épinette noire.
6 2. Distributions théoriques de Weibull en fonction d'une superficie annuelle moyenne brûlée de 0,5 % par 0,1 % des classes de superficie (les distributions sont tronquées à la limite supérieure de la dixième classe). La distribution A est celle qui a servi aux tests de 1 à 10.
7 3. Proportion relative de la superficie de chaque classe d'âge d'un an qui brûle chaque année.
16 4. Test 1 : superficies annuelles d'incendie et de récolte.
17 5. Test 1 : coupe annuelle.
18 6. Test 1 : superficie annuelle de coupe.
19 7. Test 1 : accroissement annuel et changement net de volume.
19 8. Test 1 : matériel forestier restant.
20 9. Test 1 : histogrammes de distribution par classe d'âge.
21 10. Test 2 : superficie annuelle de coupe.
22 11. Test 2 : coupe annuelle.
23 12. Test 3 : coupe annuelle.
24 13. Test 3 : matériel forestier restant.

25	14.	Test 3 : histogrammes de distribution par classe d'âge.
26	15.	Test 4 : coupe annuelle.
27	16.	Test 4 : superficie annuelle de coupe.
28	17.	Test 4 : distribution par classe d'âge à la fin de la 150^{e} année.
29	18.	Test 5 : coupe annuelle.
30	19.	Test 5 : superficie annuelle de coupe.
31	20.	Test 6 : matériel forestier restant en fonction du brûlis annuel variable (gauche) et du brûlis annuel constant (droite).
32	21.	Test 6 : distribution par classe d'âge à la fin de la 300^{e} année en fonction du brûlis annuel variable (gauche) et du brûlis annuel constant (droite).
33	22.	Test 7 : histogrammes de distribution par classe d'âge.
34	23.	Test 7 : coupe annuelle.
35	24.	Test 7 : matériel forestier restant.
36	25.	Test 8 : coupe annuelle.
37	26.	Test 9 : coupe annuelle.
38	27.	Test 9 : matériel forestier restant.
39	28.	Test 10 : coupe annuelle.
40	29.	Test 10 : histogrammes de distribution par classe d'âge.
41	30.	Test 10 : matériel forestier restant.

RÉSUMÉ

FIRFOR est un modèle de simulation de l'aménagement forestier, conçu pour faire partie d'un vaste système d'aide à la décision destiné à faciliter aux gestionnaires forestiers la recherche des meilleures solutions aux problèmes habituels. Même s'il est à ses premiers stades de développement, FIRFOR peut donner un aperçu utile des effets à long terme des stratégies envisagées. On peut supposer que les superficies incendiées chaque année sont constantes ou, de façon plus réaliste, qu'elles sont aléatoires et les établir à partir d'une distribution connue de Weibull dont les paramètres sont fixés par l'utilisateur. Les options d'aménagement forestier sont limitées à la méthode de détermination des peuplements où se fera la récolte. Les possibilités comprennent le choix des peuplements en fonction de leur âge, de leur volume ou de leur vitesse de croissance. La récolte annuelle peut être déterminée en superficie (avec vérification du volume) ou en volume (avec vérification de la superficie). Une proportion du bois qui est brûlé en une année peut être récupérée de un à quatre ans après. Actuellement, la forêt considérée ne peut être constituée que d'un type de peuplement (avec une à trois classes de site). Il est prévu que le modèle sera perfectionné de façon à permettre de considérer plusieurs types de peuplements, les données de base pour chacun seraient extraites du système d'information géographique pour une unité d'aménagement forestier.

ABSTRACT

FIRFOR is a forest management simulation model that is envisioned to be part of a comprehensive decision support system to aid forest managers in seeking the best solutions to everyday problems. Although in its early stages of development, FIRFOR can provide valuable insight into the long-term effects of strategies. The area burnt each year may be constant or, more realistically, can be drawn at random from a known Weibull distribution whose parameters are set by the user. Forest management options are confined to the method of selecting stands for harvesting. These include selecting according to stand age, stand volume, or rate of growth. The annual harvest may be controlled by area (with a volume check) or by volume (with an area check). A proportion of the wood that is burnt in any year may be salvaged during the subsequent 1 - 4 years. At present the forest may consist of only one forest type (with 1 - 3 site classes). It is expected that the model will be refined so that several forest types may be considered; the basic data for each of which would be compiled from the Geographic Information System for a forest management unit.

FIRFOR - MODÈLE SIMPLE D'AMÉNAGEMENT FORESTIER

INTRODUCTION

Le programme sur l'aménagement forestier de l'Institut forestier national de Petawawa a été créé en 1985. Un de ses principaux objectifs est d'établir un système de soutien décisionnel (SSD) répondant à tous les besoins des gestionnaires forestiers. On mettrait à profit, aux fins de la création de pareil système, les perfectionnements récents des techniques de l'information tels que la gestion de bases de données (GBD), les systèmes d'information géographique (SIG) et l'intelligence artificielle (IA), afin de donner au praticien forestier un instrument d'usage facile pour mettre à l'épreuve les différentes stratégies d'aménagement pouvant l'aider à régler des problèmes courants.

Le système idéal comprendrait des modèles interreliés. Ces modèles pourraient porter notamment sur l'accroissement ou le développement des peuplements, la prévision des incendies de forêt et la lutte contre ceux-ci, la répression des ravageurs, l'aménagement forestier, la sylviculture, les calendriers de récolte, les réseaux de chemins et leur emplacement, la gestion de la faune, et probablement d'autres éléments auxquels les forestiers actuels ne songent même pas. Dans certains domaines, particulièrement ceux de l'accroissement, de la production et de l'aménagement des forêts, il existe déjà de nombreux modèles. Certains d'entre eux ont des champs d'application étroits alors que d'autres ont une vaste portée.

Il y a deux principaux types de modèles d'aménagement forestier : les modèles d'optimisation et les modèles de simulation. Les premiers, comme leur nom le laisse sous-entendre, ont pour but de permettre une production ou des profits maximaux ou de minimiser les coûts dans un ensemble particulier de conditions et de contraintes. Ils sont fondés sur des méthodes mathématiques acceptées sur lesquelles on dispose d'une ample documentation (p. ex., programmations linéaire, dynamique et en nombres entiers), bien que les travaux de préparation des données à l'analyse par ces méthodes (et de préparation de l'interprétation des résultats) puissent être compliqués. Le Timber RAM (Navon, 1971; Johnson et al., 1977; Armstrong et al., 1984) est un des premiers modèles ainsi établis et dont différentes versions modifiées sont encore employées. Newnham (1975 et 1976) a employé la programmation linéaire pour optimiser les plans d'exploitation forestière. La programmation dynamique a été employée par Brodie et Haight (1985) pour optimiser l'investissement dans la sylviculture selon plusieurs systèmes de prévision des peuplements, et par Tait (1986) pour déterminer l'âge d'exploitabilité optimale des taillis. Les modèles d'optimisation sont sujets à être mal employés (Chappelle et al., 1976), particulièrement par des forestiers naïfs qui considèrent l'ordinateur comme un instrument magique grâce auquel il suffit d'appuyer sur un bouton pour connaître les solutions à apporter à leurs problèmes de planification. Pour qu'ils indiquent des solutions aux problèmes complexes qui se posent dans les conditions réelles, la mise au point des modèles peut exiger beaucoup de dispendieux temps d'utilisation de l'unité centrale de l'ordinateur principal (il se peut que cela ne soit plus un inconvénient pour longtemps puisqu'on disposera dans un proche avenir de

super-micro-ordinateurs). Les modèles peuvent être inflexibles ou difficiles à adapter à des conditions changeantes.

Les modèles de simulation ne sont pas destinés à indiquer une solution optimale à un problème de planification, bien que les résultats d'un certain nombre de simulations puissent servir de données de base à un programme d'optimisation. Les modèles de simulation sont plutôt destinés à répondre à des questions hypothétiques (Marshall, 1986) telles que les suivantes : quel effet une augmentation de 10 % de la demande des scieries aura-t-elle sur l'approvisionnement en bois à long terme, et qu'arrive-t-il à l'approvisionnement en bois si un incendie détruit 20 % d'une unité d'aménagement forestier? (En toute équité, il convient de signaler qu'il y a lieu de modifier certaines contraintes des modèles d'optimisation et de repasser les programmes pour répondre à de telles questions.) La simulation sert à la modélisation des peuplements depuis un certain nombre d'années (Newnham, 1964; Bella, 1971; Arney, 1972 et 1985; Ek et Monserud, 1974; Hegyi, 1974). La plupart des modèles de simulation prévoient la croissance des arbres faisant partie d'un peuplement en fonction du degré de concurrence auquel ils sont sujets. Cela permet de prévoir l'accroissement du peuplement entier dans différentes conditions d'espacement, d'éclaircie, de mortalité, etc. Tant que nous ne disposerons pas de plus amples renseignements sur les peuplements aménagés et les plantations, de tels modèles seront, dans bien des cas, les meilleurs possibles aux fins de la prévision de l'accroissement des peuplements. Le modèle STEMS (Belcher, 1981; Belcher et al., 1982; Miner et Walters, 1984) est actuellement un des modèles d'accroissement les plus utilisés. Le WOSFOP (Hall, 1977) est un des modèles de simulation d'aménagement forestier qui est employé au Nouveau-Brunswick (et, moyennant certaines modifications, en Ontario) pour prévoir l'approvisionnement en bois selon différentes stratégies et différents ensembles de règles d'aménagement. Les modèles de ce genre, bien qu'ils soient fondés sur des principes simples, peuvent devenir très complexes à mesure qu'on y ajoute des facteurs. Van Wagner (1983) a employé, pour sa part, un modèle de simulation relativement simple pour montrer l'effet des incendies forestiers (facteur dont on n'avait pas tenu compte auparavant dans les modèles d'approvisionnement en bois) sur l'équilibre à long terme de l'approvisionnement en bois. Reed et Errico (1985) ont employé des méthodes graphiques pour étudier le même problème, et ont obtenu des résultats semblables à ceux de Van Wagner.

La plupart des modèles, qu'ils soient d'optimisation ou de simulation, font l'objet d'une documentation suffisante du point de vue de leurs possibilités d'utilisation, mais non de leurs <<rouages>>. La raison en est simple : bien des usagers possibles n'ont aucun besoin de connaître le détail du fonctionnement du modèle ou le code du programme, pourvu qu'ils soient satisfaits des résultats obtenus. Seul le spécialiste, soit la personne qui désire modifier le modèle, doit en connaître le détail technique. Or, il doit examiner le code du programme à cet effet. Cela peut être très ardu, et il peut souvent être plus efficace de récrire les programmes informatiques, comme nous l'avons fait en mettant au point le FIRFOR.

Le modèle de simulation FIRFOR a pour but de poser la base des efforts de modélisation futurs dans le cadre du programme sur l'aménagement forestier. Il se caractérise par le fait qu'il tient compte de la fluctuation considérable des superficies annuelles brûlées et de son effet sur la récolte annuelle selon différentes stratégies d'aménagement forestier. De plus, il

présente des possibilités, notamment, de récupération du bois endommagé par un incendie pendant les années ultérieures, et de simulation du degré d'observance des règles d'aménagement prescrites. Grâce à des distributions selon la probabilité de la superficie annuelle brûlée, la possibilité d'aménagement forestier et les différentes contraintes imposées à la récolte, le modèle permet de prévoir la récolte annuelle, la proportion de celle-ci qui sera endommagée par le feu et les classes d'âge à l'intérieur de chaque classe de station qui, chaque année, devraient faire l'objet de la récolte. En outre, on tient compte de l'accroissement et de la décroissance, des stocks et de la distribution par classe d'âge. Bien qu'il ne constitue pas un modèle d'optimisation, le FIRFOR peut aider le gestionnaire forestier à choisir la meilleure stratégie possible dans des conditions d'exploitation précises, grâce à l'assujettissement de différentes stratégies d'aménagement à un certain nombre de tests. Pour le moment, vu les postulats applicables aux données et aux fonctions sur lesquelles repose le modèle, on ne peut prévoir que des tendances. Néanmoins, ces tendances peuvent parfois être révélatrices. On ne pourra procéder à de véritables prévisions qu'une fois que les données d'entrée et les fonctions auront été mises au point.

DONNÉES

La forêt

Aux fins des tests actuels, on suppose que la superficie forestière est de 100 000 ha. Il s'agit d'une superficie d'unité d'aménagement forestier passablement courante au Canada (voir, par exemple, Armstrong et al., 1985). Elle suffit normalement à alimenter les installations de transformation d'une société qui se trouvent dans la région. On suppose que la forêt ne comprend qu'une essence, soit l'épinette noire (Picea mariana [Mill.] B.S.P.), et que sa distribution par classe d'âge est uniforme, chaque classe d'âge comprenant 50 % de stations de la classe 2, 25 % de stations de la classe 1 et 25 % de stations de la classe 3*. La structure de la forêt ne pourrait guère être plus simple.

Détermination de la production

Les tables de production de Plonski (Plonski, 1974) ont été exprimées en formules pour permettre la prévision de l'accroissement et de la production à l'aide du modèle. Pour que l'ajustement des données aux valeurs des tables soit satisfaisant, on a établi une équation de régression polynomiale complexe qui, dans le cas de l'épinette noire, est la suivante :

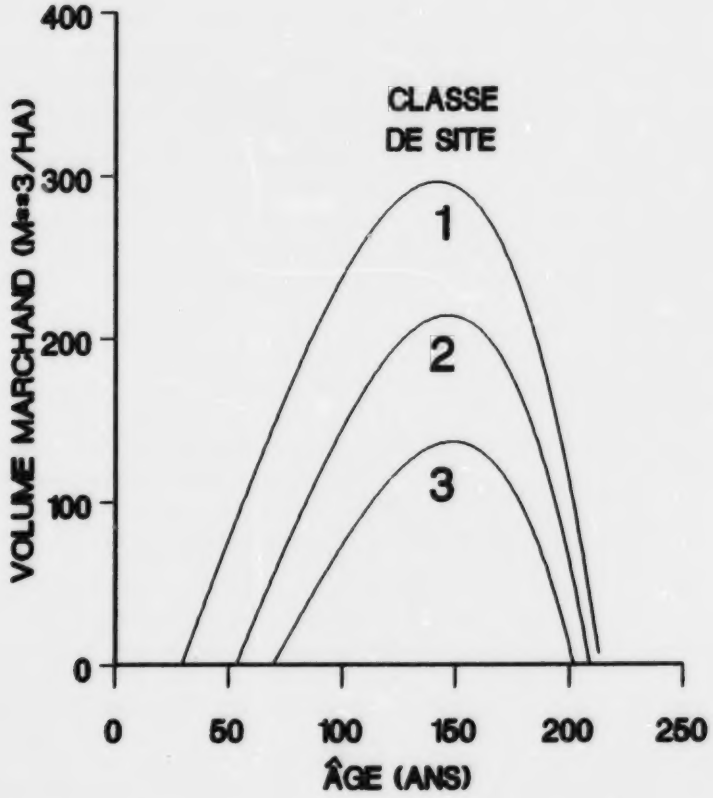
$$[1] \qquad Vm = 265{,}8 + 3{,}381A + 0{,}7876AS - 0{,}3519 \times 10^{-6}A^4 + 156{,}4S - 319{,}4\ln S - 0{,}4719AS^2 + 0{,}001176A^2S^2$$

Vm étant le volume marchand en m^3/ha, A étant l'âge en années et S étant la classe de station (1, 2 ou 3). On attribue la valeur 0 aux prévisions négatives de Vm. L'application de l'équation à l'éventail des âges que prévoient

---

*La version actuelle du FIRFOR permet également de simuler le développement d'une forêt de pins rouges (Pinus resinosa Ait.), essence dont la production est considérablement supérieure à celle de l'épinette noire.

les tables (de 0 à 150 ans) donne des prévisions qui diffèrent rarement de plus de 2 m^3/ha des valeurs que comprennent les tables. On a préféré les équations polynomiales aux équations non linéaires qu'emploie, par exemple, Payandeh (1974) car celles-ci sont asymptotiques, c'est-à-dire qu'elles ont tendance à atteindre une valeur maximale au-delà de laquelle le volume du peuplement ne diminue pas. Il est généralement reconnu que si l'on ne traite pas les peuplements, leur densité et leur volume finissent par diminuer. Si l'on projette l'équation [1] au-delà de 150 ans, on constate, comme l'indique la figure 1, que Vm diminue dans le cas des trois classes de stations, atteignant la valeur 0 entre 200 et 225 ans. Bien que les tables de production ne confirment pas pareille baisse de volume, on estime qu'elle est réaliste. De toute façon, toute erreur de prévision du volume au-delà de 150 ans n'influence pas de façon appréciable les résultats de l'utilisation du modèle FIRFOR, car il est improbable qu'un peuplement aménagé atteigne l'âge de 150 ans sans avoir subi de coupe. Aux fins du modèle, on suppose qu'une fois qu'un peuplement a fait l'objet d'une coupe ou a été détruit par le feu, ou que son volume a atteint 0, il sera régénéré sans tarder et que le cycle de production recommencera.



D'après Plonski (1974)

Figure 1. Courbes de production de l'épinette noire.

En pratique, on prévoit que des équations moins complexes que [1] seraient utilisées dans le modèle et qu'elles seraient uniformes à l'intérieur d'une même région, peu importe les essences ou le type de peuplement en cause. Il suffirait que l'utilisateur introduise les coefficients exacts. Par ailleurs, on pourrait employer une méthode de consultation des tables.

Prévision des incendies

Le FIRFOR simule grâce à deux fonctions la superficie de forêt détruite chaque année par le feu.

La première de ces fonctions est une fonction de distribution de Weibull ayant la forme suivante :

$$[2] \qquad F_X(x) = 1-e^{-(x/b)^c}$$

x étant la proportion de la superficie totale qui est brûlée chaque année alors que b et c sont des paramètres (b>0, c>0). Pour connaître par simulation la superficie devant être brûlée pendant une année particulière, on choisit au hasard une proportion parmi celles de la distribution, selon la formule suivante :

$$[3] \qquad x - b[-\ell n(1 - R_n)]$$

R_n étant un nombre choisi au hasard parmi ceux d'une distribution uniforme ($0<R_n<1$). Pour essayer le modèle FIRFOR, on a attribué à b la valeur 0,001 et à c, la valeur 0,35. La figure 2 présente la distribution théorique de ces valeurs de paramètre et cinq autres distributions dont les valeurs moyennes sont les mêmes mais les valeurs de b et c diffèrent. En moyenne, environ 0,5 % de la superficie est brûlée chaque année. Cependant, à une occasion pendant la période de 300 ans, 25 % de la superficie est brûlée.

Puisqu'il arrive effectivement de temps à autre que 25 000 ha soient brûlés, pareil <<désastre>> n'est pas tout à fait imprévu. Les valeurs de b et c varieraient en fonction de la superficie de l'unité d'aménagement forestier : la marge des proportions de superficie brûlée chaque année serait faible dans le cas des grandes unités, et forte dans le cas des petites unités (dans un cas extrême, la marge pourrait être de 0 à 100 %, c'est-à-dire qu'aucune superficie ne brûlerait ou que la forêt entière brûlerait). Les valeurs de b et de c devraient être choisies soigneusement de manière à tenir compte des dimensions de la forêt et des incendies de forêt qui ont eu lieu dans la région.

Une fois qu'on a déterminé la superficie qui brûlera pendant une année, on la répartit entre les classes d'âge appartenant à chaque classe de station selon la formule suivante :

$$[4] \qquad P = 0,00284+0,5047\times10^{-11}A^5-0,9224\times10^{-9}A^2+0,0007492\ell nA - 0,3353\times10^{-8}A^4+0,003540A+0,4139\times10^{-8}A^3S+0,8554\times10^{-6}A^3 +0,7035\times10^{-4}AS$$

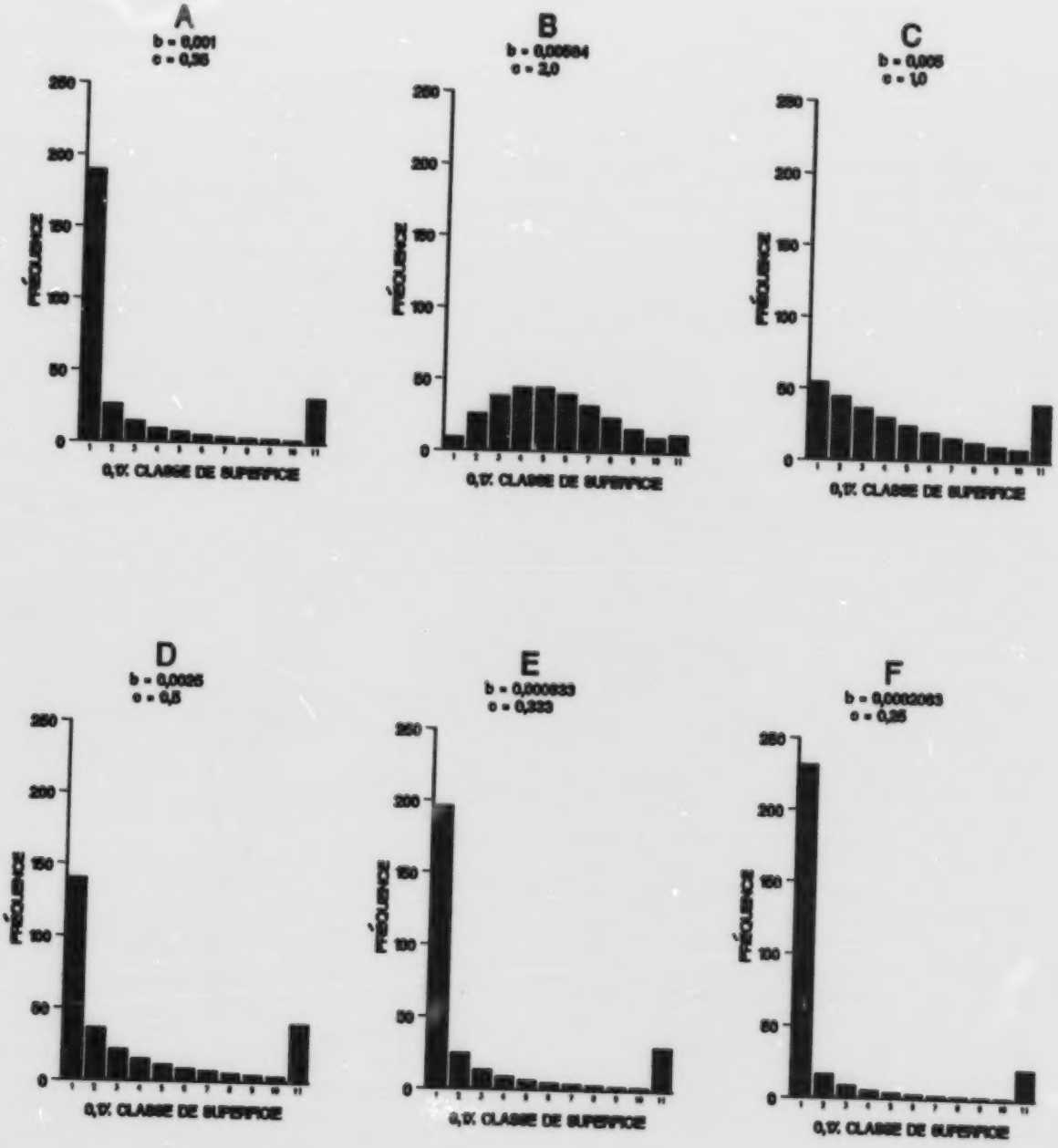


Figure 2. Distributions théoriques de Weibull en fonction d'une superficie annuelle moyenne brûlée de 0,5 % par 0,1 % des classes de superficie (les distributions sont tronquées à la limite supérieure de la dixième classe). La distribution A est celle qui a servi aux tests de 1 à 10.

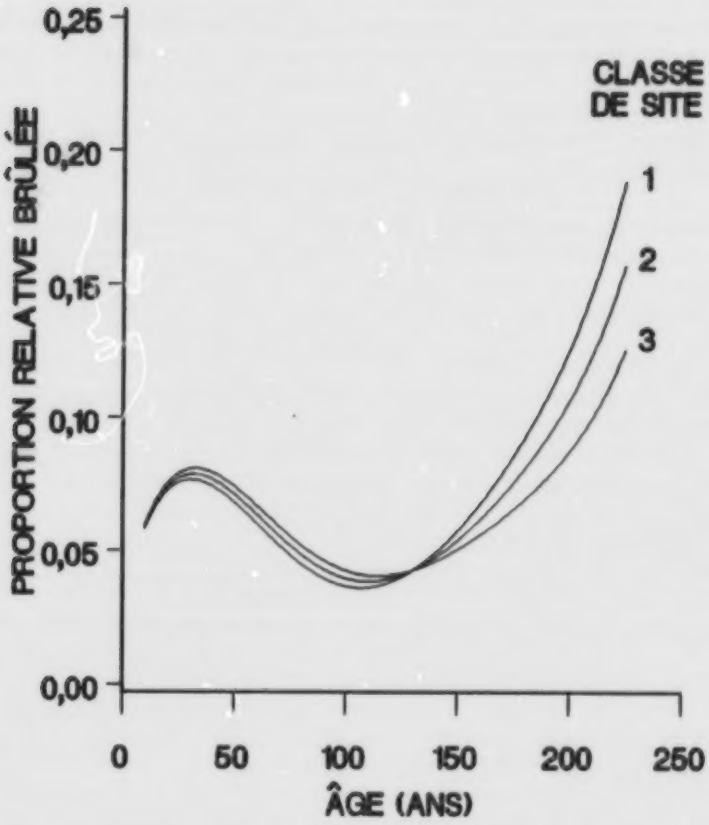


Figure 3. Proportion relative de la superficie de chaque classe d'âge d'un an qui brûle chaque année.

P étant la proportion relative de la superficie de chaque classe d'âge d'un an qui est brûlée. Cette fonction hypothétique complexe (illustrée à la figure 3) a été mise au point pour témoigner du fait que les peuplements forestiers sont les plus sujets aux incendies à certains stades de leur développement (p. ex., au début de la fermeture du couvert et quand l'inverse se produit).

L'utilisateur du FIRFOR peut choisir une proportion fixe de la superficie devant être brûlée chaque année et la répartir également entre les classes d'âge.

MÉTHODE

Le modèle FIRFOR a été programmé en FORTRAN-77 en vue de son exploitation à l'aide d'un ordinateur VAX/785 de Digital Equipment Corporation. L'annexe I comprend un imprimé du programme, un imprimé et une description des fichiers d'entrée et de sortie, et un organigramme sommaire. Puisqu'il s'agit d'un

programme interactif, l'utilisateur répond, au terminal, à des questions posées par le programme. Nous illustrerons ce procédé en prenant par exemple le test 1. Dans chaque cas, l'information introduite par l'utilisateur est soulignée.

Désirez-vous que les résultats de ce test soient tracés par SAS/GRAPH (Y/N)? Y*

À l'institut, on emploie deux méthodes de traçage des résultats d'un test FIRFOR. La première, qui est celle de la production de graphiques à l'écran d'un terminal graphique ou sur une table traçante, est fondée sur la procédure SAS/GRAPH**.

Si l'utilisateur répond par l'affirmative, un fichier (SGRAPH.DAT) est ouvert. Les résultats emmagasinés dans ce fichier peuvent être facilement convertis en fichiers de données SAS aux fins du traçage du cubage et de la superficie de récolte, de l'accroissement et du changement net ainsi que du matériel forestier restant pour la période sur laquelle porte le test. La deuxième méthode est fondée sur des programmes mis au point par le personnel de l'institut aux fins du traçage des résultats à l'aide d'un traceur Nicolet ZETA8.

ENTRER la valeur de départ des nombres aléatoires (<2147483647) : 886332245

Le nombre entré sert de valeur de départ aux fins du générateur de nombres aléatoires de l'ordinateur. Il peut être nécessaire de faire produire des nombres aléatoires pour deux raisons : établir une distribution aléatoire des superficies par classe d'âge d'un an au début d'un test (si l'on choisit cette option), et calculer les superficies brûlées chaque année (si l'on choisit l'option de la distribution de Weibull). Si la même valeur est employée aux fins de chaque test, la séquence de nombres aléatoires sera identique et la configuration des superficies brûlées chaque année, par exemple, le sera également. La valeur finale du nombre aléatoire est imprimée à la fin de chaque test afin qu'on puisse l'entrer au début du test de continuation si l'on désire prolonger la période sur laquelle porte le test.

PRODUIRE LES DONNÉES SUR LA FORÊT INITIALE

Désirez-vous :

1. une DISTRIBUTION UNIFORME des superficies par classe d'âge d'un an
2. une DISTRIBUTION ALÉATOIRE des superficies par classe d'âge d'un an
3. des données déjà produites sur une forêt?

ENTRER 1, 2 ou 3 : 3

ENTRER le nom du fichier dans lequel les données sur la forêt initiale sont emmagasinées :

FOREST.DAT;1

---

*Le programme est écrit en anglais.
**SAS Institute Inc., 1985.

La version actuelle du FIRFOR suppose une forêt très simple qui peut ne comprendre qu'une espèce et un maximum de trois classes de stations. L'utilisateur peut choisir entre une distribution uniforme ou une distribution aléatoire de la forêt initiale, ou opter pour les données sur la forêt qui ont été emmagasinées à la fin d'un test antérieur. Aux fins du présent exemple et de la plupart des exemples de tests subséquents, les données sur la forêt initiale sont fondées sur celles de la forêt de base (dont la distribution des classes d'âge est uniforme) que nous avons déjà décrite. Cette forêt a été <<aménagée>> pendant une période de 300 ans, et les données sur son état final sont emmagasinées au fichier FOREST.DAT;1. Comme dans le cas de la forêt de base, la forêt initiale comprend 25 000 ha de stations de la classe 1, la même superficie de stations de la classe 3 et 50 000 ha de stations de la classe 2.

On entend voir à ce que les données sur la forêt initiale soient produites, aux fins des versions futures du FIRFOR, par une base de données de SIG en fonction de la forêt à l'étude. Les données pourraient porter sur plusieurs essences ou types de peuplements, chacun desquels exige une fonction d'accroissement qui lui est propre.

Choisir la fonction de production à employer pour ce test :

1. **Tables de production de Plonski pour l'épinette noire (volume marchand en m³/ha)**
2. **Tables de production de Plonski pour le pin rouge (volume marchand en m³/ha)**
3. **Réservé à un usage futur**

ENTRER votre choix (1, 2 ou 3) : 1

Actuellement, l'utilisateur ne peut choisir que deux fonctions de production, bien qu'on puisse facilement en ajouter une troisième, au besoin. La fonction applicable à l'épinette noire a été indiquée dans l'équation [1] et une fonction semblable a été dérivée pour ce qui est du pin rouge, essence plus productive.

Désirez-vous qu'un fichier de données soit établi pour que les courbes de production soient tracées (Y/N)? N

Cette option permet à l'utilisateur de faire tracer des courbes de production (semblables à celles qui sont présentées à la figure 1) s'il le désire. À l'institut, le traçage s'effectue à l'aide d'un traceur Nicolet ZETA8 passant des programmes spéciaux mis au point par le personnel de l'institut. Le traçage peut également être effectué selon la procédure SAS/GRAPH.

La proportion relative de la superficie d'une classe d'âge qui est brûlée pendant toute année peut être :

1. **Constante**
2. **Variable en fonction des classes d'âge et de station**

ENTRER votre choix (1 ou 2) : 2

Désirez-vous qu'un fichier de données soit établi pour que des courbes de probabilité d'incendie par âge de peuplement soient tracées (Y/N)? N

La proportion de la superficie totale qui est brûlée pendant toute année peut être :

1. Constante
2. Variable selon une distribution de Weibull

ENTRER votre choix (1 ou 2) : 2

ENTRER les paramètres <<B>> et <<C>> de la distribution de Weibull :

CDF = 1-exp[-(x/B)**C]

X correspondant à la proportion de la superficie qui est brûlée

p. ex., ENTRER 0.001,0.4 : .001,.35

Cette section permet à l'utilisateur de choisir la façon dont les pertes annuelles attribuables aux incendies seront prévues et réparties entre des classes d'âge et de station de la forêt. Dans le présent exemple, les incendies seront répartis proportionnellement selon la distribution illustrée à la figure 3, et la superficie annuelle brûlée sera choisie au hasard dans la distribution de Weibull qui est présentée à la figure 2.

OPTIONS D'AMÉNAGEMENT FORESTIER

1. Aucun aménagement.
2. Récolter les peuplements <<surmatures>> de chaque classe de station à mesure qu'ils atteignent un âge précis.
3. Récolter les peuplements <<surmatures>> et d'autres peuplements à mesure qu'ils deviennent exploitables (qu'ils atteignent un âge d'exploitabilité précisé dans le cas de chaque classe de station).
4. Procéder à la récolte d'un cubage annuel précis ou sur une superficie annuelle précise. On récolte d'abord le bois récupérable, et ensuite les peuplements dans l'ordre décroissant de leur volume par hectare, des limites minimales de volume par hectare ou d'âge pouvant être imposées.
5. Comme au point 4, sauf que les peuplements sont choisis par ordre croissant d'accroissement annuel.

Toute option susmentionnée s'accompagne de celle de récupérer, dans un délai précis (<5 ans), une proportion précise du volume annuel ravagé par le feu, si la superficie brûlée dépasse un pourcentage précis de la superficie totale.

ENTRER votre option d'aménagement (de 1 à 5) : 5

RÉCOLTE ANNUELLE :

Dans le cas des options 4 et 5, la récolte annuelle peut être fixée par :

1. SUPERFICIE, moyennant des limites du volume pouvant être récolté chaque année (IAV = 1), ou
2. VOLUME, moyennant des limites de la superficie qui peut être récoltée chaque année (IAV = 2).

L'utilisateur doit entrer la superficie ou le volume prescrit devant faire l'objet de la coupe chaque année et la marge de variation possible. Si la récolte est fixée par superficie, la superficie prescrite fera l'objet d'une coupe chaque année, sauf si la coupe par volume qui y est associée dépasse la marge prescrite des volumes. En pareil cas, la superficie du bûché sera rajustée (à l'intérieur de sa marge) jusqu'à ce que la coupe par volume se trouve dans la marge prescrite ou qu'une limite de superficie soit atteinte. On suit une procédure semblable si la récolte est fixée par volume.

ENTRER la valeur appropriée d'IAV (1 ou 2) : 2

ENTRER le volume (m^3) à récolter chaque année et les limites inférieure et supérieure (p. ex., 120000, 100000, 125000) :
125000, 120000, 130000

ENTRER les limites supérieure et inférieure de la superficie (ha) de récolte annuelle (p. ex., 800,2000) :
600,1000

Désirez-vous l'option de récupération (Y/N)? Y

Le FIRFOR permet à l'utilisateur de choisir cinq options d'aménagement élémentaires ayant trait à la sélection des peuplements à récolter. La plus simple est la première, qui consiste à ne procéder à aucun aménagement, c'est-à-dire à laisser la forêt suivre son cycle naturel. Chaque peuplement mourrait quand son volume deviendrait nul (voir la figure 1) ou quand il serait détruit par le feu, et serait immédiatement remplacé par un peuplement de la même essence ayant le même régime d'accroissement. À moins qu'on ait choisi l'option de récupération, la production de la forêt serait nulle.

Selon l'option 2, l'âge où les peuplements de chaque classe de station doivent être récoltés est précisé. Tous les peuplements dont l'âge est supérieur à celui qui est prévu pour leur classe de station seraient récoltés pendant la première année. Cela pourrait donner lieu à une coupe excessivement importante pendant cette année, si l'âge de récolte était de beaucoup inférieur à l'âge des plus vieux peuplements. Après la première année, les peuplements seraient récoltés à mesure qu'ils atteignent l'âge précisé, ce qui donnerait lieu à une production annuelle plus uniforme (jusqu'à ce que les peuplements récoltés au cours de la première année soient prêts à être coupés de nouveau).

Selon l'option 3, qui est une modification de l'option 2, on précise deux âges de récolte par classe de station. Le premier est l'âge auquel les peuplements <<surmatures>> doivent être récoltés, et le second est l'âge d'exploitabilité (d'ordinaire l'âge auquel l'accroissement moyen annuel est maximal). Par exemple, le premier âge peut être fixé à 145 ans alors que l'âge d'exploitabilité est fixé à 110 ans. Tous les peuplements ayant 145 ans ou plus et les peuplements qui ont 110 ans seraient récoltés pendant la

première année. À partir de la deuxième année et jusqu'à la 135e année, les peuplements seraient récoltés à mesure qu'ils atteignent soit 110 ans, soit 145 ans. Après la 35e année, il n'y aurait plus de peuplements de plus de 110 ans. La récolte des peuplements <<surmatures>> est échelonnée ainsi sur un certain nombre d'années au lieu d'être concentrée dans la première année.

Les trois premières options donnent une idée de la production soutenue possible à long terme selon un ensemble de règles simples d'établissement d'un calendrier de récolte. On ne fixe pas une coupe annuelle. La fixation de pareille coupe peut être effectuée en vertu des options 4 et 5 d'après la superficie (moyennant une limite de volume) ou le volume (moyennant une limite de superficie). La procédure à suivre est indiquée dans l'explication que nous avons déjà donnée et qui est présentée à l'écran du terminal chaque fois que le FIRFOR est employé. Dans le cas des options 4 et 5, on choisit des peuplements à récolter selon un ordre de priorité assujetti à des règles précises. L'option 4 consiste à choisir des peuplements dans l'ordre décroissant du volume par hectare, jusqu'à ce que la coupe annuelle soit atteinte. L'option 5 consiste à choisir les peuplements dans l'ordre croissant de l'accroissement annuel (compte tenu du fait que l'accroissement peut être négatif, par exemple si le peuplement a plus de 150 ans, comme en témoigne la figure 1). Dans ce dernier cas, le premier peuplement qui serait choisi serait celui dont le volume par hectare est censé diminuer le plus au cours de l'année. Le second serait le peuplement dont la décroissance de volume arrive au deuxième rang, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on ait choisi, si nécessaire, tous les peuplements dont l'accroissement a une valeur négative. Le peuplement suivant qui serait choisi serait celui dont l'accroissement positif est le plus faible. On continuerait ainsi jusqu'à ce que l'on ait atteint la superficie de récolte prescrite ou la CAP, la superficie et le volume de coupe entrant, si possible, dans les marges prescrites. Signalons que la récolte annuelle peut parfois ne pas entrer dans les marges prescrites à cause d'autres contraintes imposées à la coupe. Ces contraintes sont décrites ci-dessous.

Le fait d'opter pour la récupération permet de récolter une partie du bois qui est brûlé au cours de toute année. Si une récolte annuelle a été fixée, on en soustrait le cubage récupéré avant d'établir le calendrier de coupe.

FACTEUR D'OBSERVANCE DES RÈGLES :

En pratique, il n'est pas d'ordinaire possible d'observer à 100 % les règles que prévoient les options d'aménagement de 2 à 5. Il se peut que certains peuplements qu'on a choisi de récolter ne soient pas économiquement accessibles pour le moment. Au cours de toute année, le gestionnaire peut préférer grouper les coupes dans des zones précises en échangeant des peuplements dont la récolte est prévue pour d'autres peuplements dont la récolte n'est pas prévue pour cette année-là mais qui devraient être récoltés sous peu. Pareille dérogation aux règles prescrites de récolte est simulée par l'application d'un <<facteur d'observance des règles>>. Si l'on attribue à ce facteur une valeur de 50 %, cela signifie que seuls 50 % des peuplements dont la récolte est prévue seraient effectivement récoltés. Des peuplements au rang suivant, dans l'ordre de priorité, interviendraient pour l'autre moitié de la récolte. REMARQUE : une superficie d'un hectare ou moins dont la

récolte est prévue doit être récoltée entièrement, peu importe la valeur du facteur d'observance des règles.

ENTRER le facteur d'observance des règles (%) (p. ex., 50 - fort, 25 - moyen, 10 - faible) : 100

L'explication du facteur d'observance des règles qui figure ci-dessus est présentée à l'écran du terminal chaque fois que le modèle est employé. Les pourcentages jugés <<fort>>, <<moyen>> et <<faible>> semblent, de prime abord, irrationnellement bas. Toutefois, il faut se rappeler que s'il n'y a que 50 % des peuplements dont la récolte est prévue qui sont effectivement récoltés pendant l'année courante, les 50 % qui restent seront probablement inscrits au calendrier de récolte l'année suivante, et la moitié d'entre eux seront coupés. Au bout de cinq ans, environ 97 % des peuplements dont la récolte était initialement prévue pour la première année auront été récoltés. La valeur qui correspond au faible facteur d'observance des règles (10 %) est de 41 %.

ENTRER le volume minimum de récolte (m³/ha) : 90

ENTRER l'âge minimum de récolte : 75

ENTRER un minimum de pourcentage du bois ravagé par le feu qui peut être récupéré : 25

ENTRER la période de récupération (<5 ans) : 3

(récupération de la moitié pendant la première année, d'un tiers pendant la deuxième année et d'un sixième pendant la troisième année)

ENTRER le pourcentage de la superficie brûlée pendant toute année à laquelle s'ajoutera celle de la coupe de récupération : 1

Aux fins des options 4 et 5, l'utilisateur peut désirer imposer un certain nombre de contraintes aux peuplements pouvant être récoltés. La récolte peut être restreinte aux peuplements dépassant un certain âge minimum. L'imposition de cette contrainte peut être nécessaire, si l'on choisit l'option 5, afin de prévenir la récolte de jeunes peuplements à accroissement lent (le problème ne se pose pas dans le cas de l'épinette noire puisque, selon les tables de production de Plonski, l'accroissement du volume marchand est le plus fort à l'âge où les peuplements commencent à être exploitables, et diminue par la suite). Puisqu'il peut ne pas être économique de les exploiter parce qu'ils ne comprennent pas le volume prescrit de bois exploitable, on peut laisser mourir et se regénérer naturellement certains peuplements.

Si l'on opte pour la récupération, il faut préciser le pourcentage de bois brûlé pouvant être récupéré. D'ordinaire, ce pourcentage sera inférieur à 100 %, car une partie du bois peut être endommagée à un point tel qu'elle n'a aucune valeur marchande, ou les peuplements peuvent se trouver dans des régions isolées et il peut, par conséquent, ne pas être économique de les récolter. Le bois endommagé doit être récolté dans un délai de quelques années, sinon il se détériorera davantage. C'est pourquoi l'utilisateur peut préciser une période de récupération variant de une à quatre années. Le modèle est prévu pour que la majeure partie du bois soit récoltée pendant la

première année de la période, des volumes décroissants étant récoltés au cours des années suivantes, comme en témoigne l'exemple ci-dessous applicable à une période de récupération de trois ans. Toute année où la superficie de bois ravagé par le feu est faible, il se peut que le gestionnaire ne désire pas récupérer du bois. Dans notre exemple, la récupération n'a lieu que si la totalité de la superficie brûle.

ENTRER le n° du test (max. de 8 caractères) : 1-5V

ENTRER la date selon le SI, p. ex., 85.1122 signifie le 22 novembre 1985 : 86.1202

ENTRER le titre (max. de 45 caractères) : TEST 1 : OPTION 5V - CAP = 125000 M3/ANNÉE**

Désirez-vous un tableau sommaire sur la forêt initiale (Y/N)? Y

Les superficies et les volumes sont imprimés par classe d'âge.
ENTRER le nombre d'années dans chaque classe d'âge : 25

À quel intervalle désirez-vous que des tableaux de distribution par classe d'âge soient imprimés?
ENTRER le nombre d'années : 25

Désirez-vous que les distributions initiale et périodique par classe d'âge soient tracées (Y/N)? Y

ENTRER le nombre d'années par classe d'âge : 10

À quel intervalle désirez-vous que les distributions par classe d'âge soient tracées?
ENTRER le nombre d'années : 50

À quel intervalle désirez-vous que des résultats sommaires soient imprimés?
ENTRER le nombre d'années : 5

Désirez-vous que les résultats (volume restant, récolte, accroissement, etc.) soient tracés chronologiquement (Y/N) : Y

Désirez-vous emmagasiner les données sur l'état final de la forêt (Y/N)? N

Ces questions permettent à l'utilisateur de choisir le traitement qu'il désire. La date et le numéro du test sont imprimés dans le haut de chaque page des fichiers de sortie. Le titre est imprimé sur la première page et sur chaque graphique. Le traçage des graphiques n'est pas effectué en direct. Il exige le passage de programmes supplémentaires pour que les données soient préparées à l'usage du traceur ZETA8. Les graphiques peuvent également être établis à l'aide du SAS/GRAPH.

ENTRER le nombre d'années sur lequel porte cette simulation : 300

En dernier lieu, le nombre d'années sur lequel porte la simulation doit être précisé.

Les noms des fichiers auxquels les différents types de sorties doivent être mémorisées sont indiqués à l'annexe I. Ces fichiers peuvent être énumérés à l'écran du terminal ou à l'imprimante du système. L'annexe I présente également des exemples de sortie.

RÉSULTATS

Nous décrivons ici de façon passablement détaillée les résultats du test 1. Nous avons effectué un certain nombre d'autres tests de simulation en ne modifiant qu'une ou deux des options ou les valeurs d'une ou deux des variables d'entrée. Les résultats de ces tests sont comparés afin que l'utilisateur puisse avoir une idée des effets des différentes variables et options sur le volume restant, la récolte annuelle, les pertes attribuables aux incendies et l'accroissement. Nous n'avons pas repris les tests. En général, nous avons employé aux fins de tous les tests la même forêt initiale (comprenant 100 000 ha d'épinettes noires) et la même valeur de départ des nombres aléatoires.

Test 1. Option 5 (récolte annuelle = 125 000 m^3/année).

Les valeurs des variables d'entrée employées pour ce test ont été indiquées dans la section sur la méthode. La superficie annuelle brûlée a été tirée au hasard de la distribution de Weibull illustrée à la figure 2, et répartie entre les classes d'âge selon les proportions indiquées à la figure 3. La récolte annuelle prescrite est de 125 000 m^3 mais peut varier, au besoin, de 120 000 m^3 à 130 000 m^3. La superficie récoltée chaque année (et, par conséquent, devant être régénérée) devrait préférablement se situer entre 600 et 1000 ha. Les peuplements dont la récolte est prévue ont été choisis selon l'accroissement projeté : on a récolté d'abord les peuplements ayant l'accroissement négatif le plus important, et ensuite les peuplements ayant le plus faible accroissement positif, jusqu'à ce que la coupe annuelle ait été atteinte. Les peuplements de moins de 90 m^3/ha ou de moins de 75 ans ont été exclus de la récolte. Si plus de 1 % d'une superficie a été brûlée pendant une année, on a récupéré 25 % du bois marchand de cette superficie au cours des trois années suivantes. Le test a porté sur une période de 300 ans. Le tableau des résultats est présenté à l'annexe I.

Pertes attribuables aux incendies. La figure 4 indique les superficies annuelles d'incendie et de récolte. Sauf les brûlis qui seront récupérés au cours des trois années suivantes, ces superficies (et tout brûlis antérieur récupéré) seront régénérées immédiatement. La 64^e année, où près de 25 % de la forêt a été détruite, a été la pire année d'incendie, la deuxième en importance étant la 129^e année, où 15 % de la forêt a été détruite. D'autre part, pendant les 270^e et 300^e années, moins de 1 % de la superficie a brûlé et la superficie moyenne était de 477 ha.

Récolte annuelle. La CAP prescrite de 125 000 m^3 a été réalisée au cours d'environ les deux tiers des années; elle a été dépassée seulement six fois (figure 5). On constate clairement la raison du dépassement si l'on compare la figure 5 à la figure 6 : au cours de chacune des six années de dépassement,

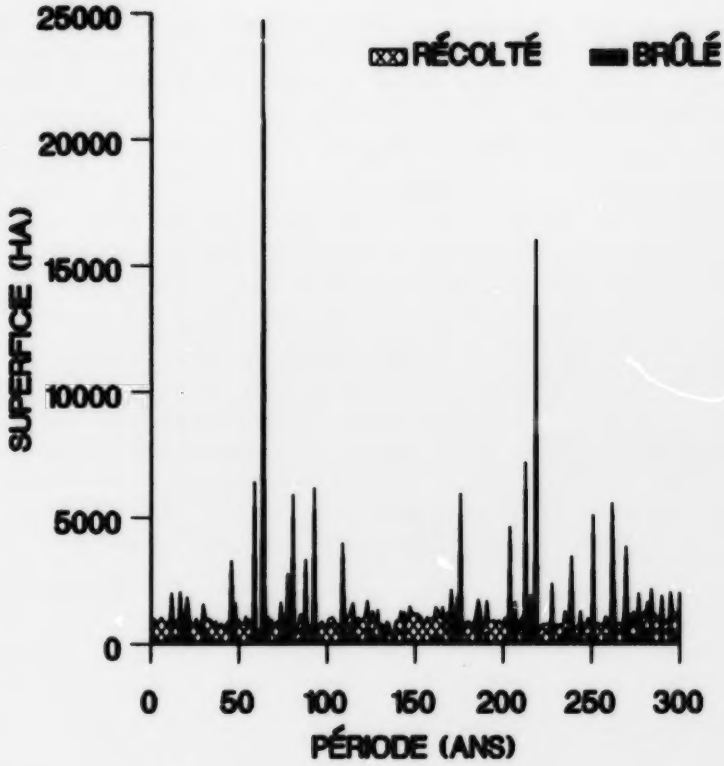


Figure 4. Test 1 : superficies annuelles d'incendie et de récolte.

le cubage excédentaire a été récolté pour porter la superficie de coupe au minimum de 600 ha. Il est arrivé plus souvent qu'on procède à la récolte minimale de 120 000 m^3 en essayant, habituellement en vain, de restreindre la superficie de coupe au maximum de 1000 ha. Après les désastreuses années d'incendie que sont la 64^e et la 219^e années, une forte proportion du bois récolté annuellement était du bois de récupération. On a récupéré du bois brûlé au cours de 27 % des années. Ce que la figure 5 illustre peut-être de plus intéressant, c'est l'insuffisance de la récolte annuelle pendant huit années, soit de la 127^e à la 139^e années. Cette insuffisance est attribuable à la pénurie de peuplements exploitables (90 m^3/ha) qui découle du grave incendie s'étant produit environ 70 ans auparavant. Une insuffisance semblable, bien que moindre, se serait probablement produite vers la 310^e année si l'on avait prolongé la période à l'étude. La récolte annuelle moyenne est de 121 860 m^3, et la superficie de coupe moyenne, de 901 ha.

Accroissement annuel et changement net du volume. Dans la figure 7, la limite supérieure de la zone hachurée indique l'accroissement annuel du bois marchand. Celui-ci varie de 93 à 160 milliers de m^3/année. On en soustrait le volume récolté et le volume net perdu à cause du feu (le volume total des superficies brûlées moins le volume pouvant être récupéré) afin d'obtenir le changement net du volume pour l'année (limite inférieure de la zone grise). Vu la configuration des pertes causées par les incendies, le changement net fluctue énormément entre une perte nette de 677 milliers de m^3/année et un

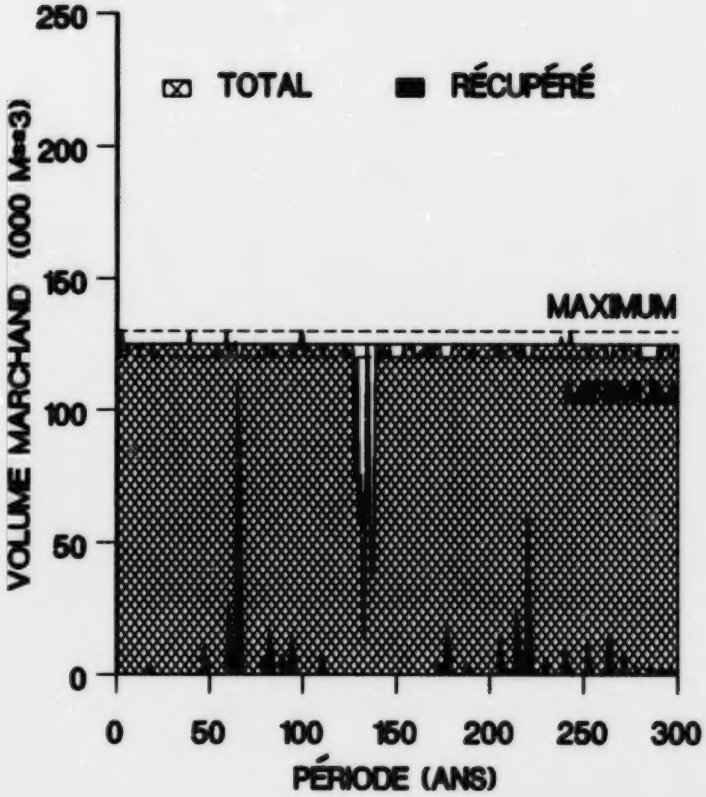


Figure 5. Test 1 : coupe annuelle.

gain net de 118 milliers de m^3/année. Au cours de la période de 300 ans, l'accroissement moyen a été de 130 milliers de m^3/année, et le changement net moyen, de -560 m^3/année.

Matériel forestier. La figure 8 illustre le bois marchand de la forêt au cours de la période de 300 ans. Le volume marchand augmente constamment jusqu'à la 64^e année, où près de 900 000 m^3 sont détruits par le feu. Par suite de l'incendie, le matériel continue de diminuer au cours des 60 années suivantes, atteignant un minimum de 2,25 millions de m^3 au cours de la 126^e année, où de jeunes peuplements à faible volume sont sacrifiés pour répondre aux besoins en récolte annuelle. Comme nous l'avons déjà mentionné, le nombre de peuplements exploitables diminue à un point tel qu'on ne peut répondre aux besoins annuels pendant plusieurs années. Par après, le matériel augmente constamment à mesure que les peuplements régénérés pendant la 64^e année atteignent l'âge d'exploitabilité. La même chose semble se produire après la deuxième grave année d'incendie, soit la 219^e année. Par conséquent, il semble que la forêt n'atteindra jamais un état stable si la configuration des pertes annuelles attribuables aux incendies se maintient.

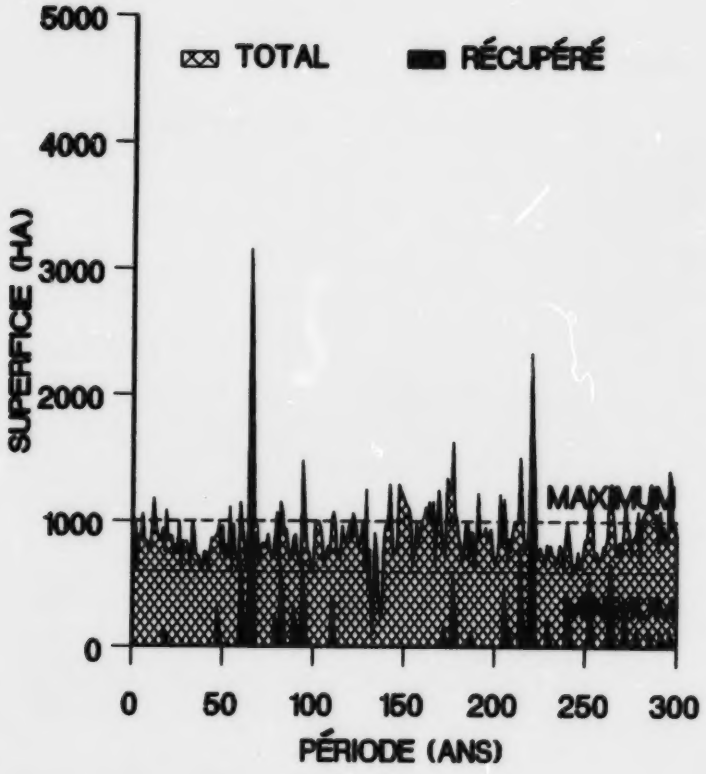


Figure 6. Test 1 : superficie annuelle de coupe.

Distribution par classe d'âge. La distribution des superficies par classe d'âge de 10 ans (de 1 à 10, de 11 à 20, etc.) est indiquée, à un intervalle de 50 ans, à la figure 9. On ne trouve qu'un nombre remarquablement faible de points de ressemblance à la distribution renversée en forme de <<J>> qui est normalement associée aux forêts dans le développement desquelles les incendies jouent un rôle important (Van Wagner, 1978). Les distributions sont passablement uniformes, au moins pour ce qui est des années choisies, à l'exception des <<crêtes>> des classes d'âge dont les peuplements ont commencé à pousser pendant une des années d'incendies graves (64^{e} ou 219^{e} année), telles que celle de la classe d'âge de 30 ans à la 100^{e} année. La crête est encore notable à la deuxième révolution (voir la classe d'âge de 20 ans à la 200^{e} année). En général, les classes d'âge les plus élevés comprennent une proportion supérieure à la moyenne de classes de stations peu productives.

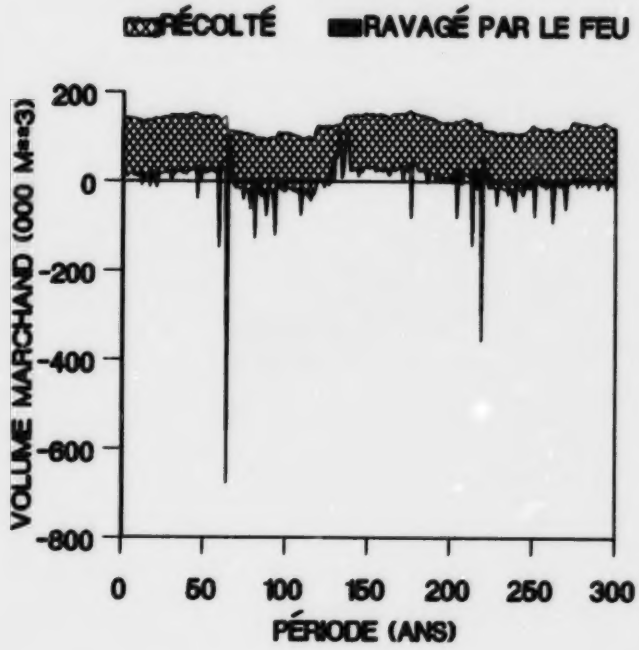


Figure 7. Test 1 : accroissement annuel et changement net de volume.

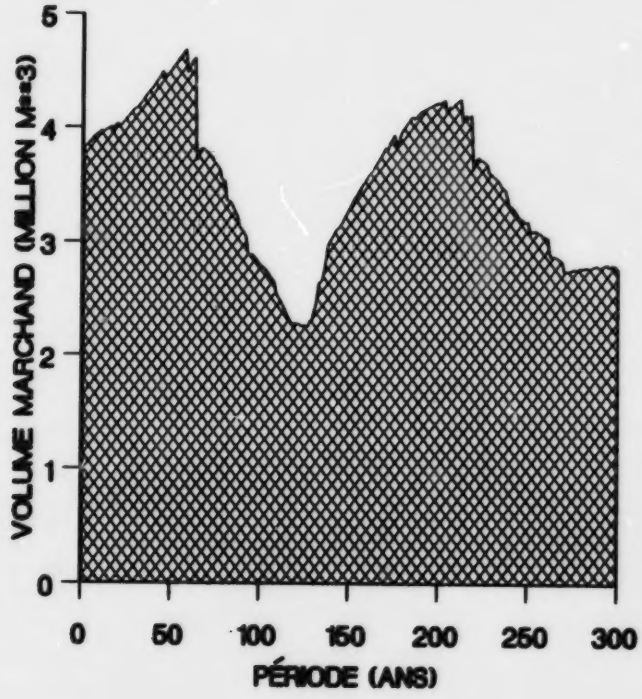


Figure 8. Test 1 : matériel forestier restant.

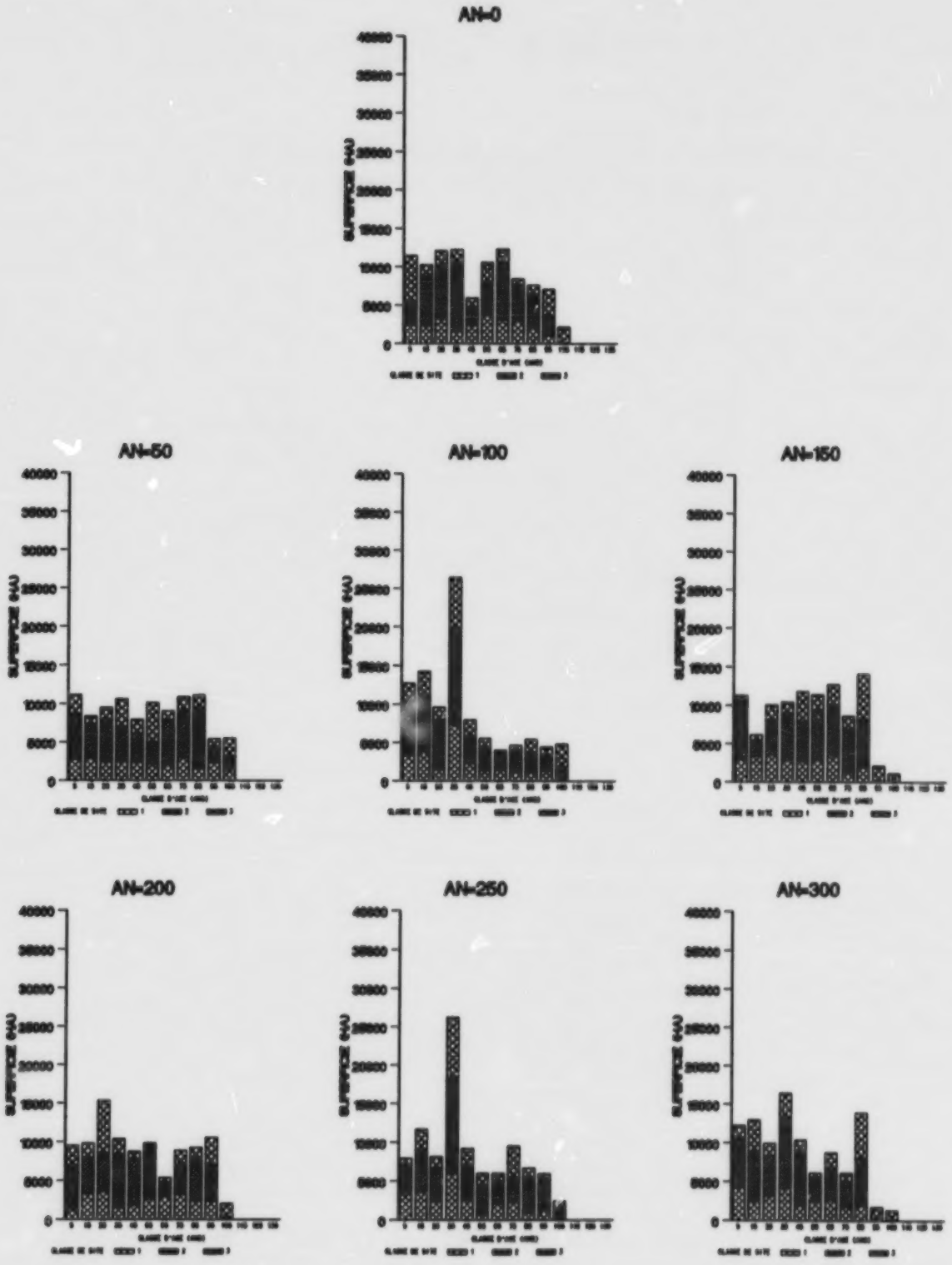


Figure 9. Test 1 : histogrammes de distribution par classe d'âge.

Test 2. Option 5 (récolte annuelle = 900 ha/année).

Le test 2 est identique au test 1, sauf que la coupe annuelle est fixée par superficie moyennant une limite de volume. Elle est fixée à 900 ha (à peu près la superficie moyenne qui a fait l'objet d'une coupe chaque année au test 1). La marge des superficies est de 600 à 1000 ha, et celle des volumes est de 120 à 130 milliers de m^3. La superficie assujettie à une coupe chaque année est indiquée à la figure 10. Sauf pendant les deux années de graves incendies, la limite supérieure n'a jamais été dépassée, et la coupe annuelle n'a été moindre que la limite inférieure qu'à deux occasions. Toutefois, il y a eu une fluctuation considérable à l'intérieur de la marge des superficies. Le volume du bois coupé chaque année a également fluctué considérablement (figure 11). Il y a eu 73 occasions où la limite inférieure de 120 milliers de m^3 n'a pas été atteinte (par rapport à huit seulement selon la fixation de la coupe par volume). Il y a eu des insuffisances de coupe pendant toute la période de 300 ans, mais elles ont été les plus fréquentes de la 125^e à la 175^e années. La limite supérieure du volume a été dépassée à plusieurs occasions, et particulièrement vers la 250^e année. La superficie moyenne de coupe (853 ha) a été inférieure de 5 % à celle qu'a indiqué le test 1 alors que le volume moyen (117 722 m^3) a été inférieur de 11 % à celui indiqué par ce test.

Les configurations de l'accroissement annuel brut et du changement net annuel, du matériel forestier restant, des pertes annuelles de superficie, et de la distribution par classe d'âge ont été semblables à celles qu'a indiquées le test 1, seule l'ampleur ayant différé.

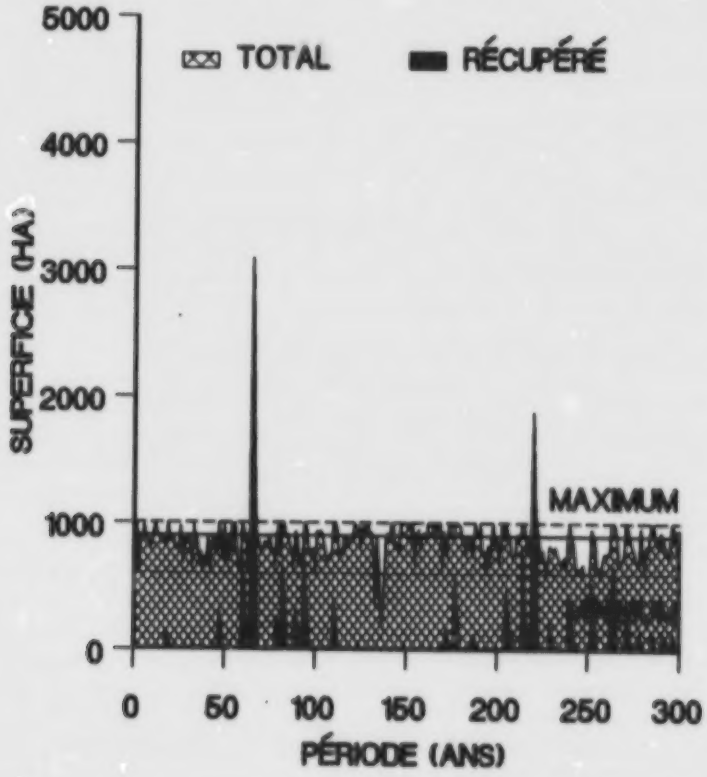


Figure 10. Test 2 : superficie annuelle de coupe.

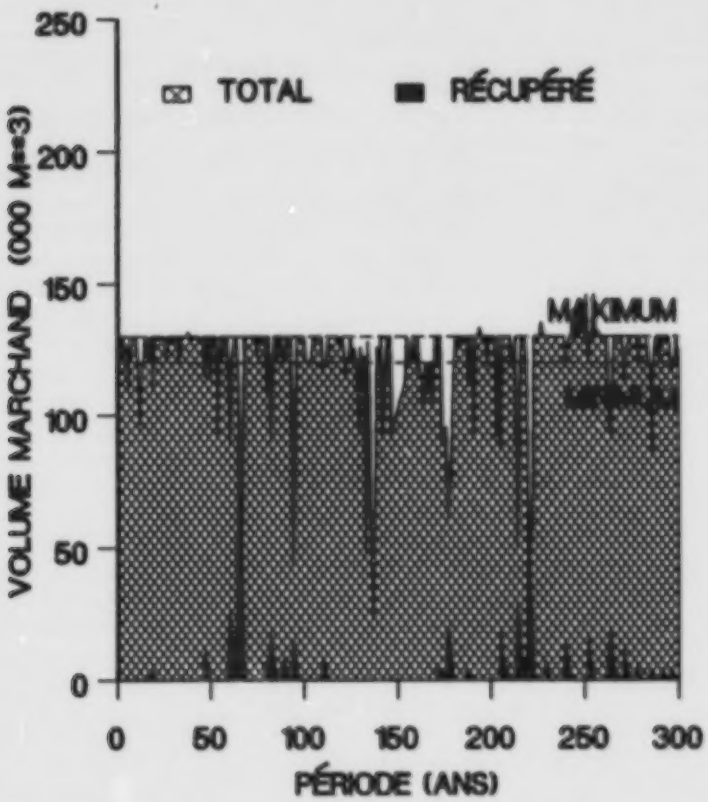


Figure 11. Test 2 : coupe annuelle.

Test 3. Option 5 (récolte annuelle = 125 000 m³; pertes attribuables au feu constantes).

La principale différence entre le test 3 et le test 1 est qu'on a supposé que la perte annuelle attribuable aux incendies était constante plutôt qu'aléatoire. On a fixé cette perte annuelle à 0,477 % de la superficie totale, ce qui correspond à la perte annuelle moyenne calculée selon les tests 1 et 2. Puisque cette superficie est toujours inférieure à la superficie minimale de récupération (1 %, dans le cas des tests 1 et 2), la proportion de bois pouvant être récupéré a été ramenée de 25 à 20,6 %, ce dernier pourcentage correspondant à la quantité moyenne récupérée selon le test 1, et la superficie minimale de bois pouvant être récupéré a été ramenée à zéro de telle sorte que 20,6 % du bois brûlé a été récupéré chaque année. Outre ces modifications, les tests 1 et 3 sont identiques.

Vu l'élimination de la forte fluctuation des pertes annuelles attribuables au feu, la récolte et l'accroissement sont naturellement plus uniformes. La récolte annuelle (figure 12) ne dépasse jamais la CAP prescrite (125 000 m³) et fluctue, pendant les 200 premières années, entre le minimum et la CAP prescrite. Pendant les 60 années suivantes, la récolte ne dépasse que rarement le minimum de 120 000 m³. Après la 265^{e} année, elle n'atteint le minimum qu'à six occasions. Cela indique probablement que, dans les conditions actuelles, la forêt ne peut pas supporter, à long terme, une CAP de

125 000 m³. On peut en déduire autant de la décroissance constante du matériel forestier (figure 13), bien que celle-ci semble s'atténuer au cours des 40 dernières années. La récolte annuelle moyenne (120 756 m³) a été légèrement inférieure à celle qu'on a calculée au cours des deux tests précédents.

Les différences les plus frappantes se trouvent dans la configuration des distributions par classe d'âge (figure 14). Une grande partie des écarts de la distribution initiale (année 0) n'existe plus à la 50e année, et la configuration est passablement constante après la 200e année. Dans la forêt à état stable, la superficie de chaque classe d'âge diminue à mesure qu'augmente l'âge jusqu'à ce que celui-ci ait atteint 75 ans. Les peuplements qui appartiennent à des classes d'âge supérieures à 75 ans sont confinés aux classes de stations 2 et 3, la plupart d'entre eux ayant des volumes inférieurs à 90 m³/ha (figure 1). Cette configuration, qui se trouve entre la distribution rectangulaire de la forêt aménagée dont la variable du feu est exclue, et la distribution renversée en forme de <<J>> de la forêt non aménagée qui ne varie qu'en fonction des incendies, confirme les constations de Van Wagner (1983).

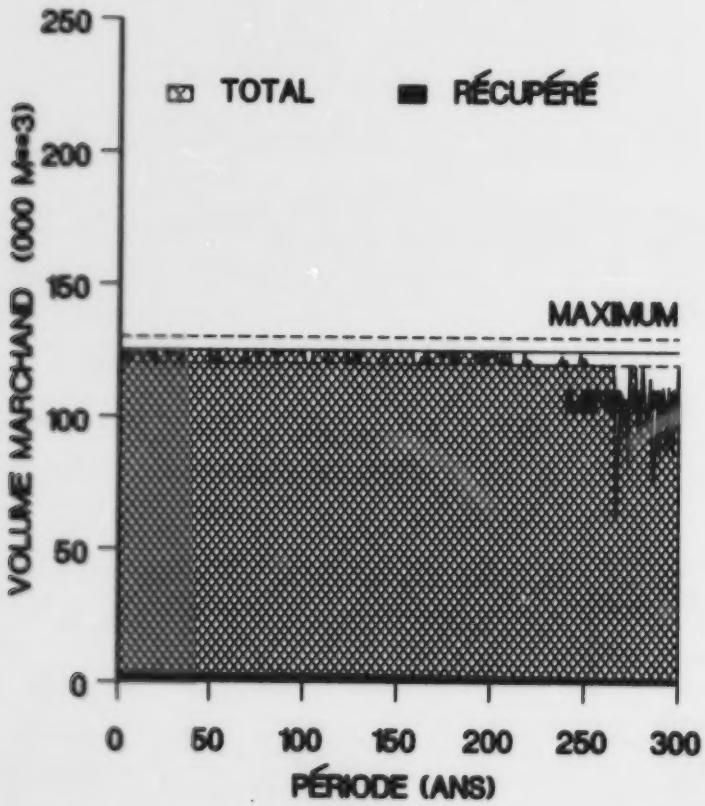


Figure 12. Test 3 : coupe annuelle.

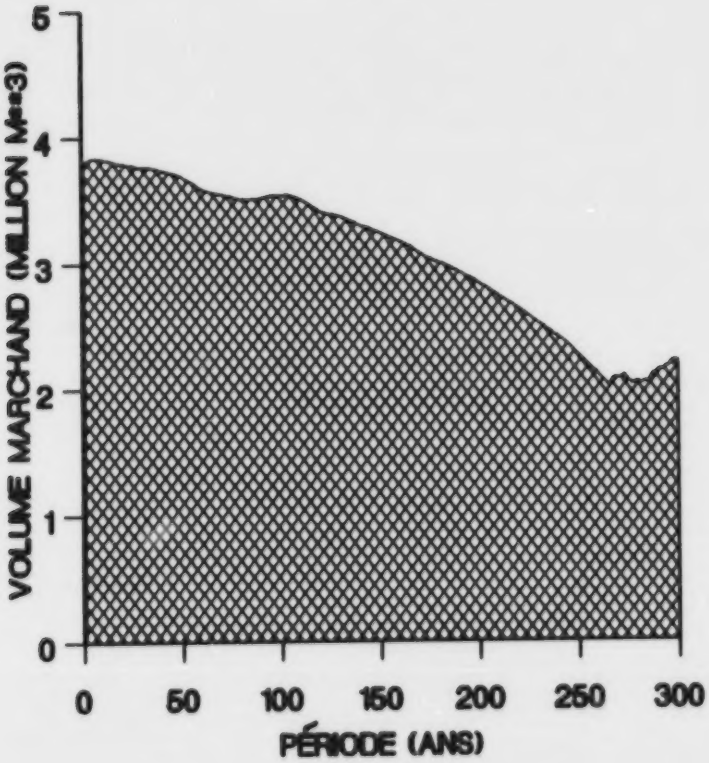


Figure 13. Test 3 : matériel forestier restant.

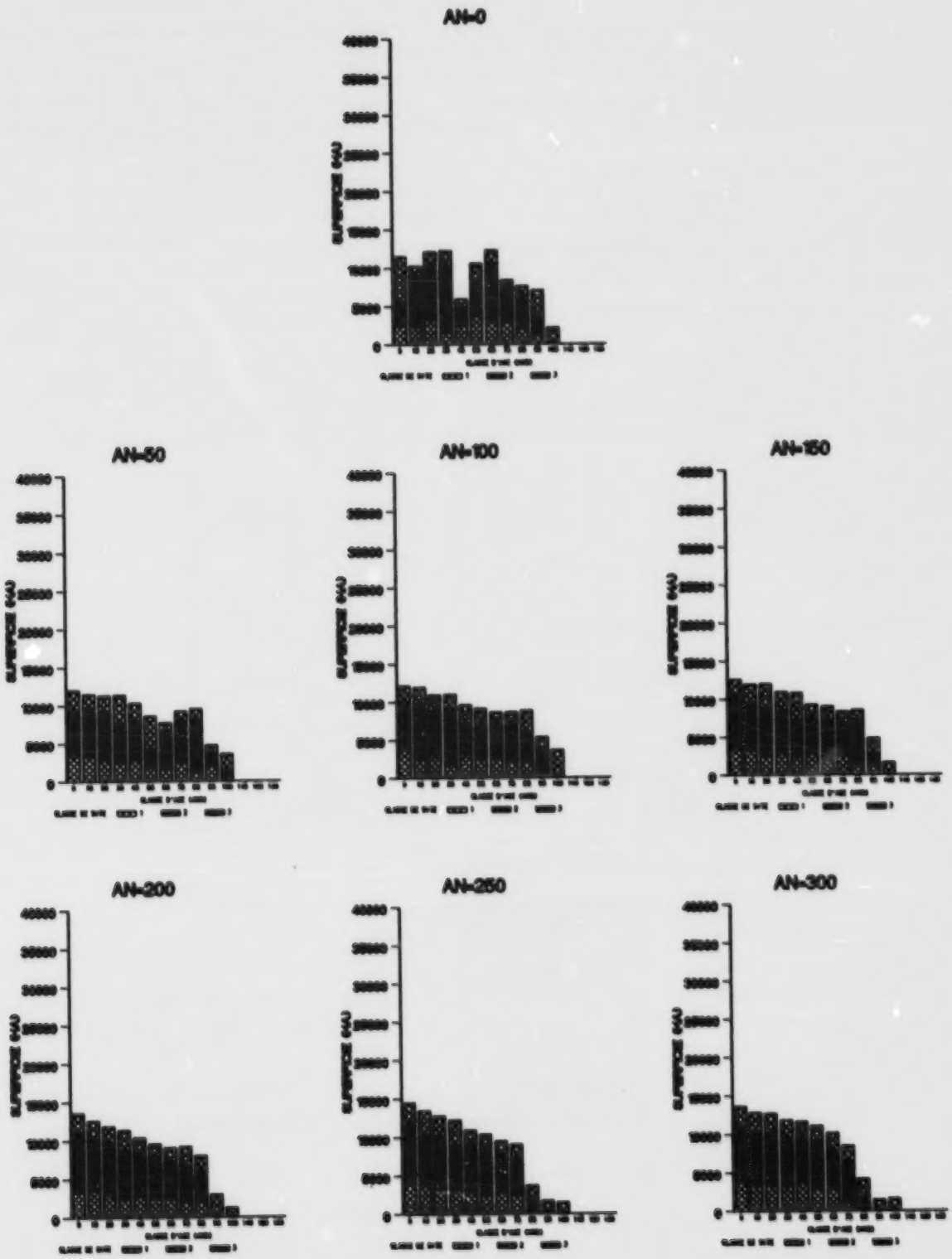


Figure 14. Test 3 : histogrammes de distribution par classe d'âge.

Test 4. Option 5 (récolte annuelle = 125 000 m³; aucune limite minimale d'âge ou de volume de récolte par hectare).

Le test 4 indique de façon tout à fait frappante ce qui arrive si l'on ne fixe pas de volume minimal par hectare et d'âge minimal des peuplements pouvant être récoltés. La récolte porte principalement sur les peuplements de la classe de station 3, dont l'accroissement est lent, les peuplements des classes de stations de meilleure qualité n'étant coupés qu'une fois que les peuplements exploitables de la classe 3 l'ont été (voir la figure 1). Pendant les 100 premières années, la CAP prescrite n'est que rarement dépassée (figure 15), tandis que la limite supérieure de la superficie l'est souvent (figure 16) puisqu'on récolte de peuplements à faible volume. En raison des différences de distribution par classe d'âge, les effets des désastreux incendies de la 64e année sur la récolte annuelle se font sentir plus tôt qu'au test 1. L'absence de contraintes de récolte permet de récolter tous les peuplements comprenant du bois marchand pendant la 118e année afin d'essayer d'atteindre la coupe annuelle prescrite. Or, puisque la tendance se poursuit pendant le reste de la période de 300 ans, la forêt ne se rétablit jamais. La distribution par classe d'âge à la 150e année (figure 17) indique qu'aucun des peuplements ne comprend du bois marchand.

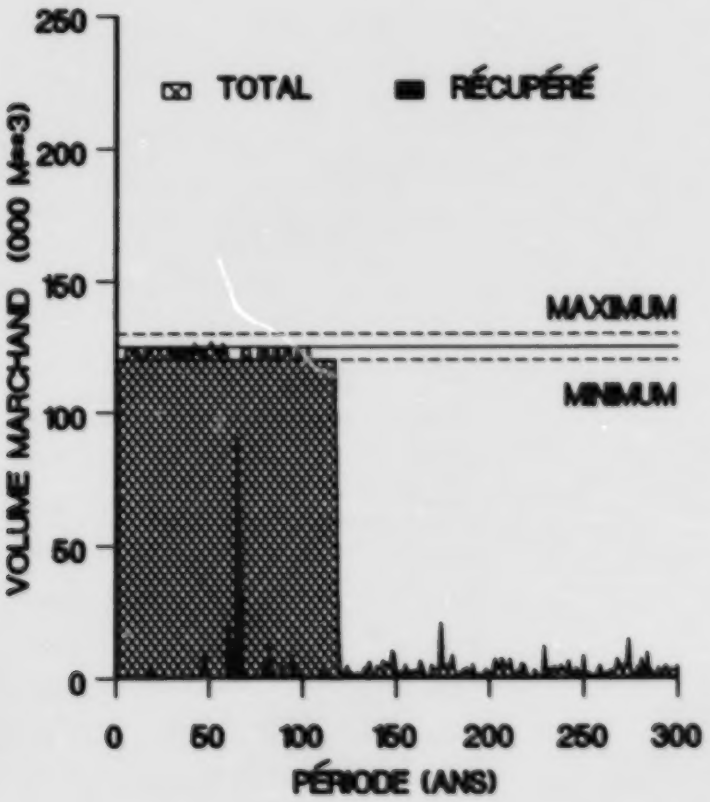


Figure 15. Test. 4 : coupe annuelle.

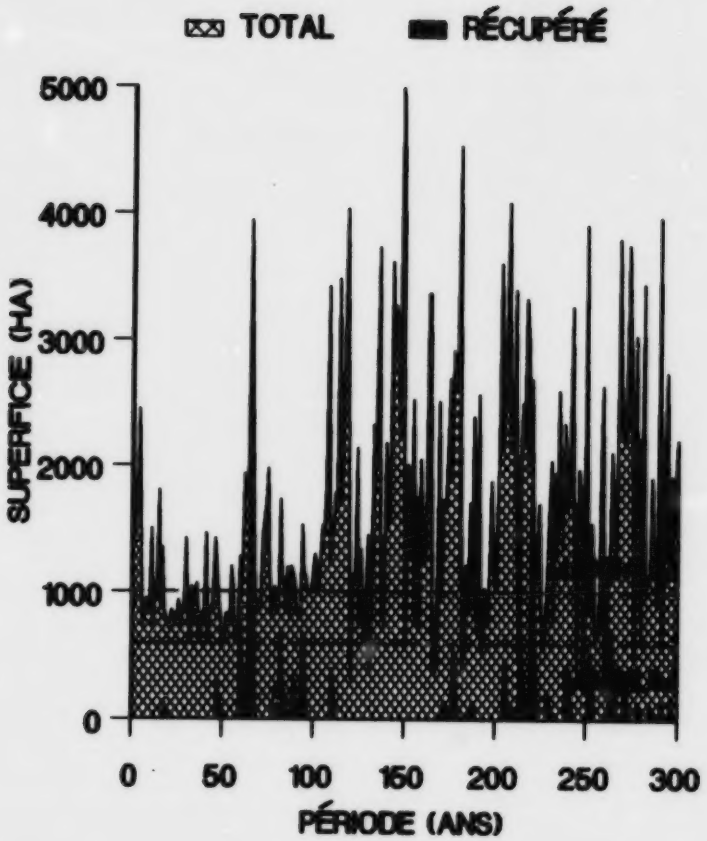


Figure 16. Test 4 : superficie annuelle de coupe.

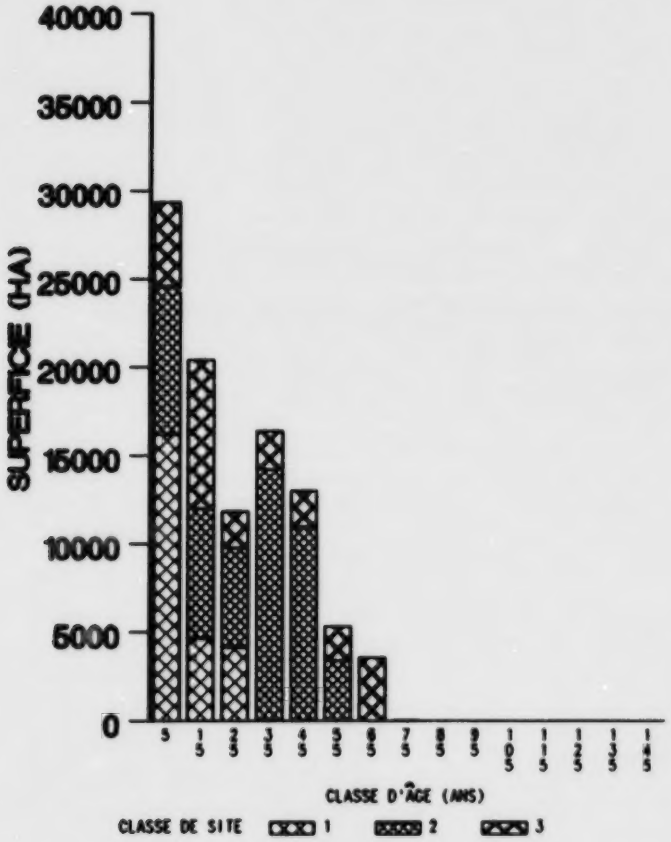


Figure 17. Test 4 : distribution par classe d'âge à la fin de la 150e année.

Test 5. Option 5 (récolte annuelle = 125 000 m³; facteur d'observance des règles = 10 %).

Aux fins des quatre premiers tests, on a supposé qu'il y avait une observance absolue des règles de sélection des peuplements à récolter. En pratique, l'observance absolue de telles règles rigoureuses est rarement possible, en raison de contraintes opérationnelles dont il n'est pas tenu compte dans le modèle. La non-observance qui en résulte peut influencer le régime de récolte. C'est pourquoi on la simule, dans le modèle, en supposant que, pendant toute année, seul un pourcentage (facteur d'observance des règles précisé par l'utilisateur) des peuplements dont la récolte serait normalement prévue au calendrier feront l'objet d'une coupe. Des peuplements suivants dans l'ordre de récolte interviendront pour le reste de la récolte annuelle. Aux fins du test 5, on a choisi un faible facteur d'observance des règles (10 %). La comparaison de ce facteur à la pleine observance (test 1 - figure 5) révèle des effets de deux genres. D'une part, les répercussions des graves incendies de la 64e année sont plus prononcées : l'insuffisance de la récolte annuelle qui se produit quelque 50 années plus tard dure plus longtemps (de la 106e à la 138e années), bien qu'on réalise chaque année au moins la moitié de la coupe prescrite (figure 18). D'autre part, sauf

pendant la période d'insuffisance de 20 ans, la récolte semble être plus uniforme que si l'on avait observé pleinement les règles. La coupe annuelle prescrite a été atteinte près de 90 % du temps et n'a été dépassée qu'à trois occasions (249^{e}, 250^{e} et 251^{e} années). Le fait que la distribution des superficies annuelles de coupe (figure 19) soit plus égale témoigne également d'une configuration de récolte plus uniforme. Sauf pendant les deux graves années d'incendie (64^{e} et 219^{e}) et la période d'insuffisance de coupe, les superficies annuelles de coupe se sont généralement situées à l'intérieur de la marge prescrite (de 600 à 1000 ha).

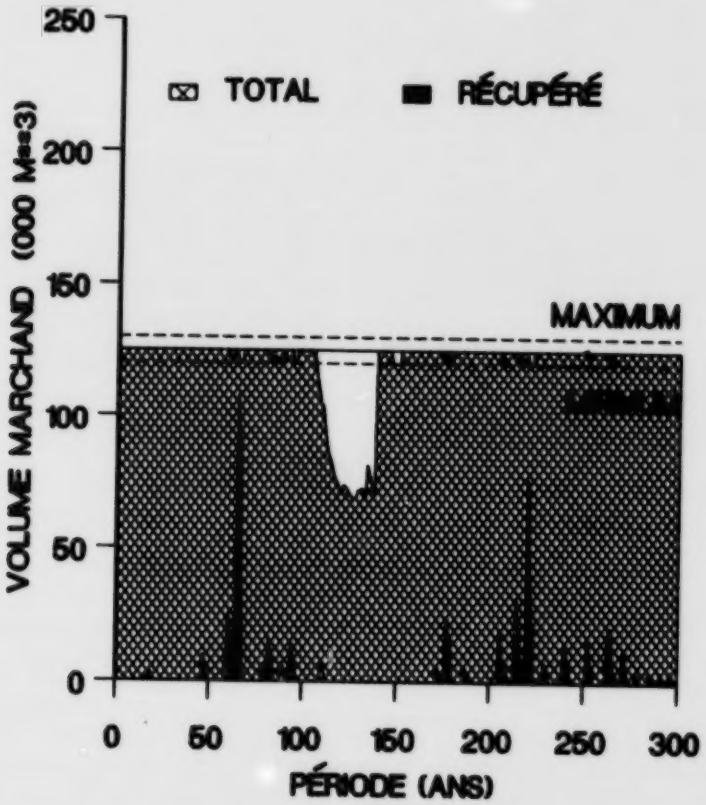


Figure 18. Test 5 : coupe annuelle.

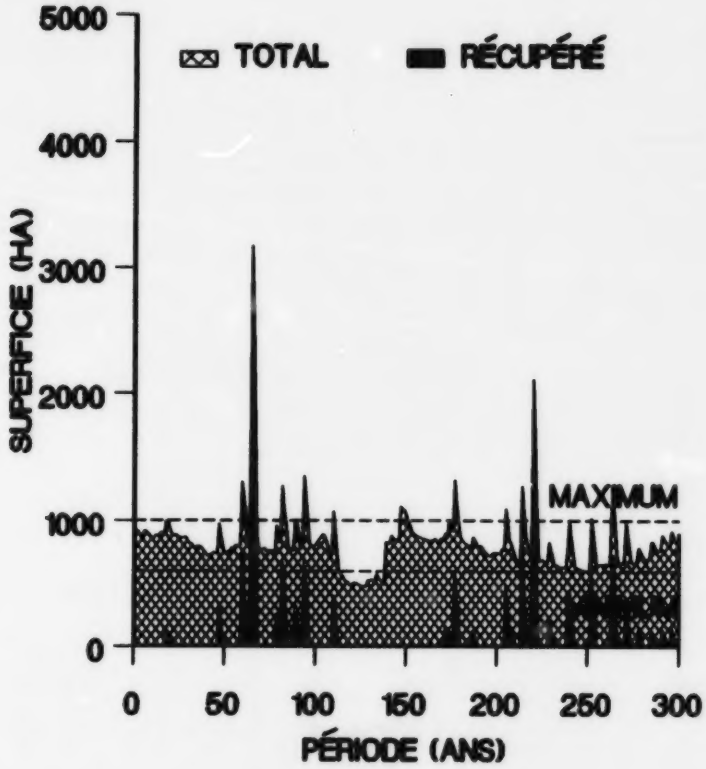


Figure 19. Test 5 : superficie annuelle de coupe.

Test 6. Option 1 (aucun aménagement).

Aux fins de ce test, on a supposé que la forêt ne ferait l'objet d'aucun aménagement et qu'on ne récupérerait pas de bois endommagé par le feu. Par conséquent, il y a eu un accroissement rapide du matériel forestier pendant les 50 à 60 premières années, une diminution marquée attribuable aux graves incendies de la 64^{e} année, et une décroissance moins marquée au cours des 100 années suivantes (figure 20).

Dans la forêt initiale (voir la distribution par classe d'âge pour l'année 0 à la figure 9), les peuplements ont 100 ans ou moins. Leur accroissement annuel se maintiendra pour au moins 50 ans. Après la 50^{e} année, une proportion grandissante des peuplements de la forêt auront plus de 150 ans et, par conséquent, leur volume décroîtra (voir la figure 1). Puisque la distribution par classe d'âge, qui est égale une fois que la forêt a atteint 300 ans (figure 21), ne correspond que peu à la distribution renversée prévue en forme de <<J>>, on a recommencé le test en fixant à 0,477 % de la superficie la perte annuelle attribuable aux incendies (test 6A). Cela n'a pas donné lieu à la configuration prévue pour les 90 premières années (figure 21), mais il semble qu'il faudrait que la période sur laquelle porte la simulation soit

considérablement plus longue pour que la forêt atteigne un état stable. La figure 20 indique que la courbe du matériel d'une forêt à pertes annuelles constantes attribuables aux incendies a tendance à être sinusoïdale, l'amplitude décroissant dans le temps. On peut présumer que le matériel finirait par atteindre un niveau constant.

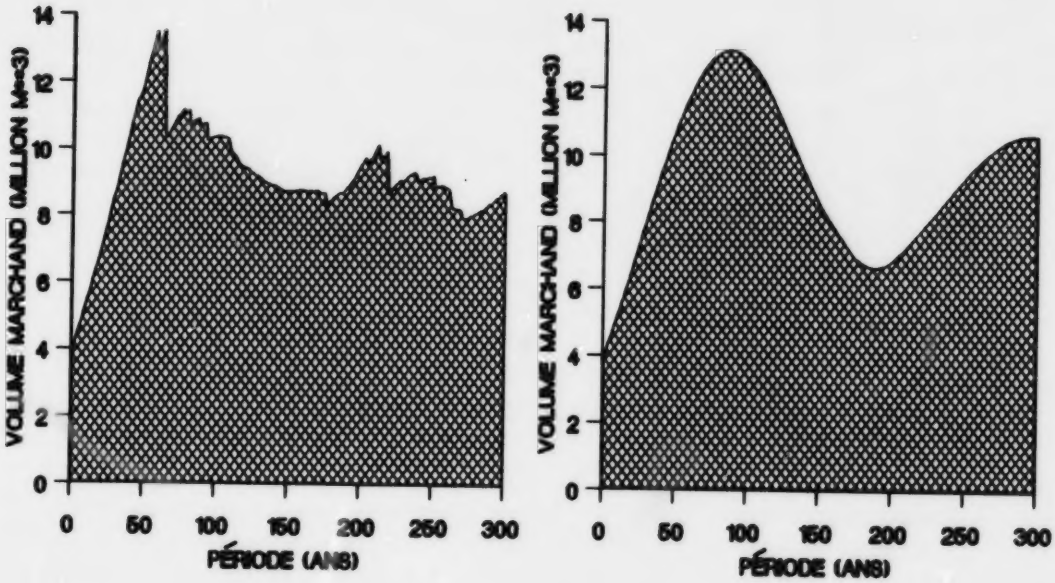


Figure 20. Test 6 : matériel forestier restant en fonction du brûlis annuel variable (gauche) et du brûlis annuel constant (droite).

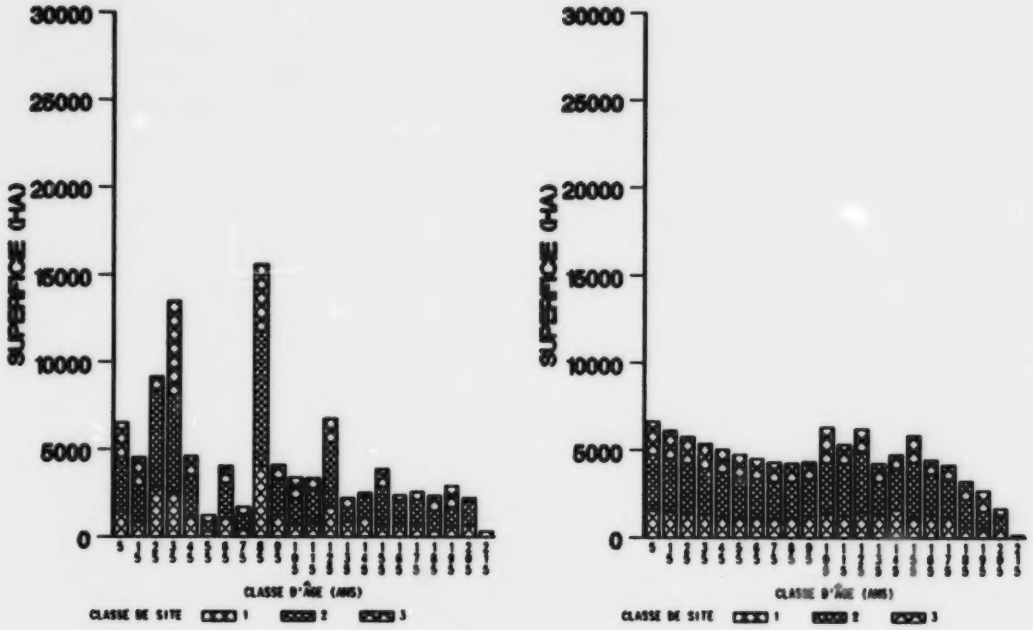


Figure 21. Test 6 : distribution par classe d'âge à la fin de la 300^{e} année en fonction du brûlis annuel variable (gauche) et du brûlis annuel constant (droite).

Test 7. Option 2 (tous les peuplements sont récoltés à l'âge de 150 ans).

Aux fins de ce test, on a choisi le degré d'aménagement minimal (option 2). Les peuplements ayant au moins 150 ans sont récoltés pendant la première année, les autres l'étant à mesure qu'ils atteignent l'âge de 150 ans. Puisque les plus vieux peuplements de la forêt initiale appartiennent à la classe d'âge de 105 ans (figure 22), il n'y a pas de coupe pendant les 40 premières années (figure 23 : il y a des coupes de récupération pendant cette période mais, vu l'échelle verticale employée, il n'en est pas tenu compte). Entre les 50^{e} et 150^{e} années, la récolte annuelle est raisonnablement constante. Par la suite, il y a une autre période de 40 à 50 ans où les récoltes annuelles sont négligeables (tout bois récolté vient de superficies ravagées par le feu pendant les 40 premières années). La très forte récolte (3,1 millions de m^{3}) de la 214^{e} année vient de la grande superficie brûlée pendant la 64^{e} année. Les distributions chronologiques par classe d'âge (figure 22) et le matériel forestier restant (figure 24) témoignent également de la configuration de récolte. La coupe annuelle moyenne a été de 99 579 m^{3} sur une superficie moyenne de 525 ha.

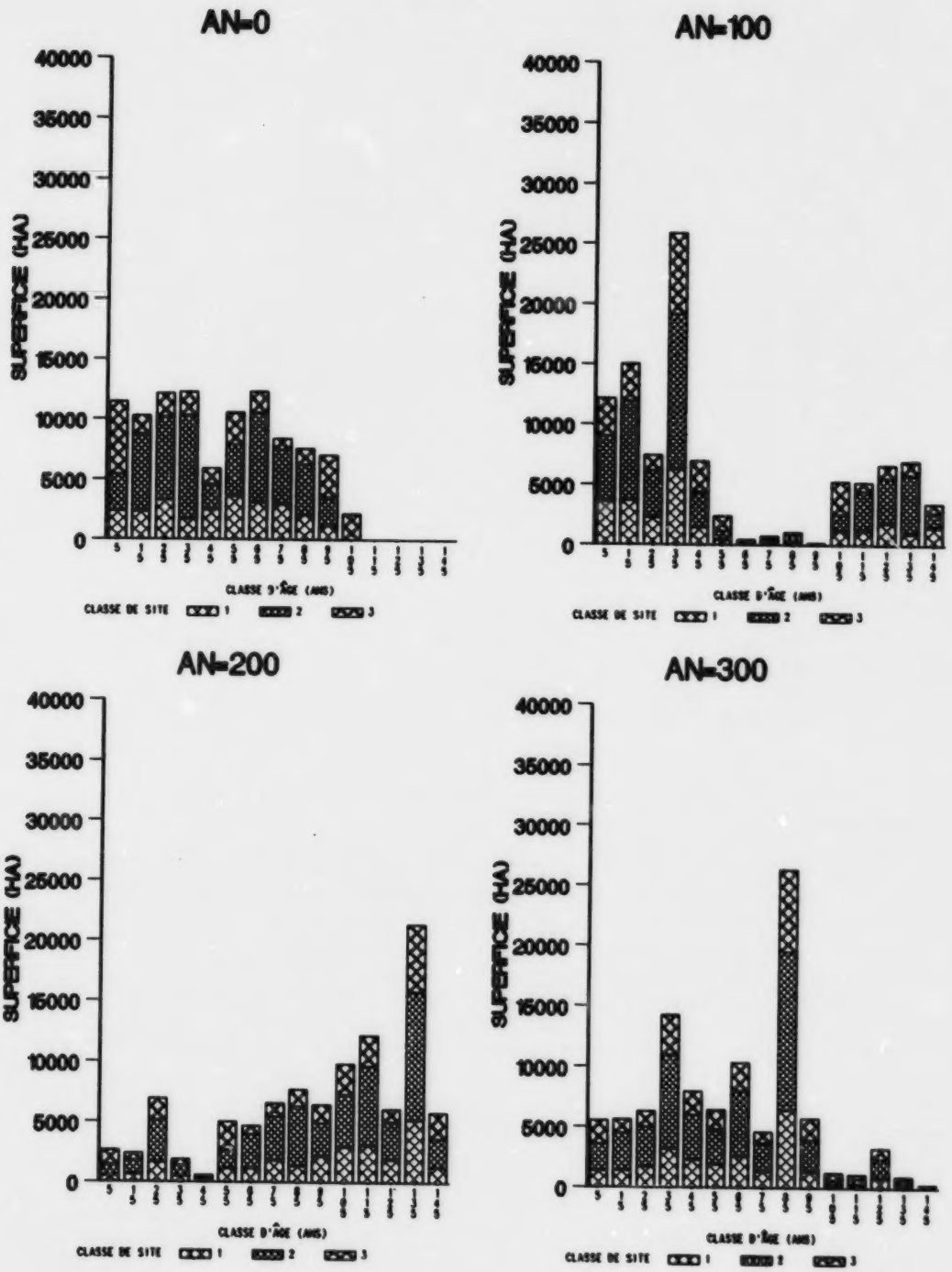


Figure 22. Test 7 : histogrammes de distribution par classe d'âge.

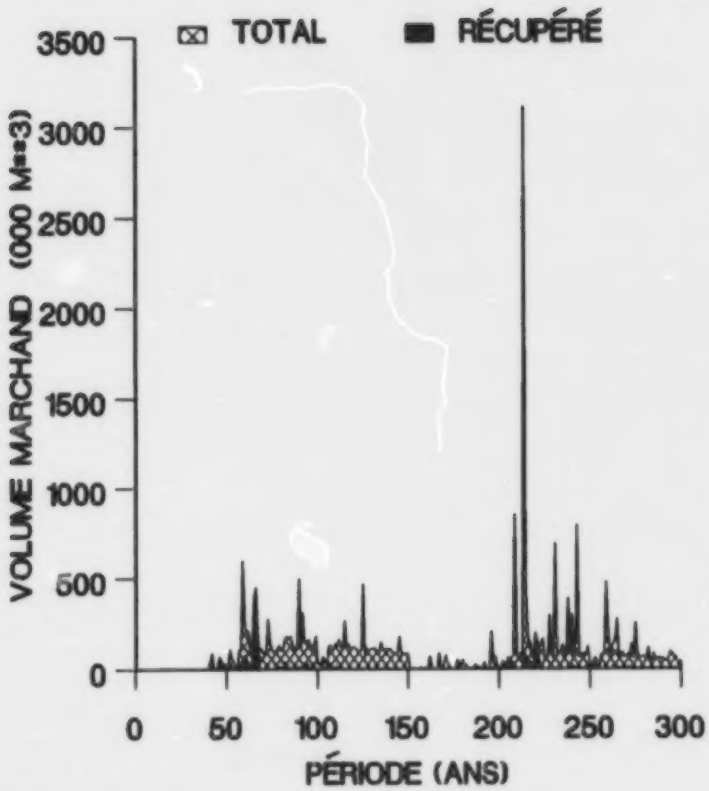


Figure 23. Test 7 : coupe annuelle.

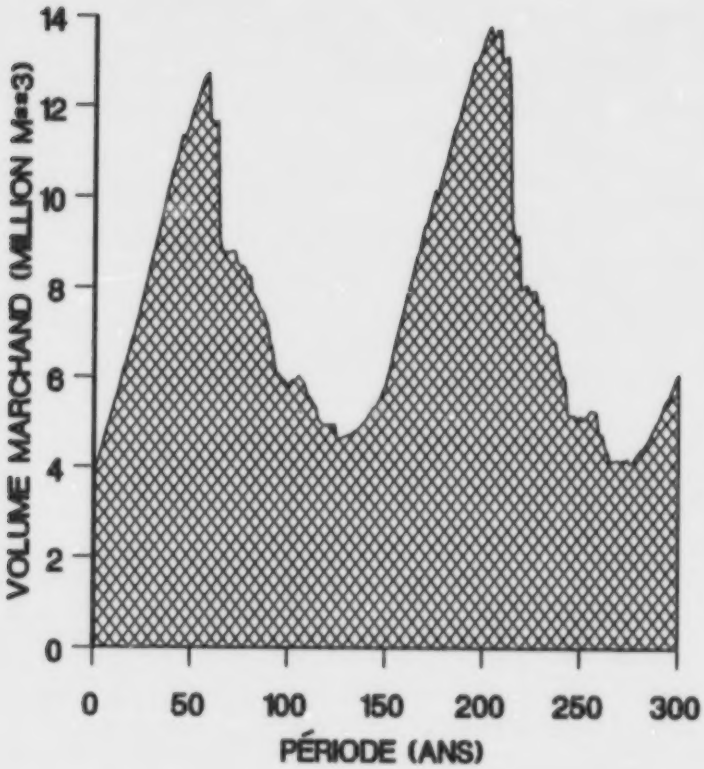


Figure 24. Test 7 : matériel forestier restant.

Test 8. Option 3 (récolte à l'âge où l'AMA des peuplements est maximal).

Le test 8 porte sur une forme d'aménagement légèrement plus avancée selon laquelle les <<vieux>> peuplements sont récoltés à l'âge de 150 ans (comme au test 7) mais, autrement, l'âge d'exploitabilité de chaque classe de station est fixée à l'âge auquel l'accroissement moyen annuel est maximal (100 ans, dans le cas de la classe de station 1, 120 ans dans celui de la classe de station 2, et 135 ans dans celui de la classe de station 3). Sauf les six premières années, où aucun peuplement n'est exploitable, la récolte est soutenue (figure 25) et la fluctuation annuelle des volumes n'est pas aussi prononcée qu'au test 7. De plus, la production moyenne (122 014 m^3/année) est plus élevée, mais est fondée sur un matériel moyen de beaucoup moindre (5,0 millions de m^3, par rapport aux 7,6 millions de m^3 dont il était question au test 7).

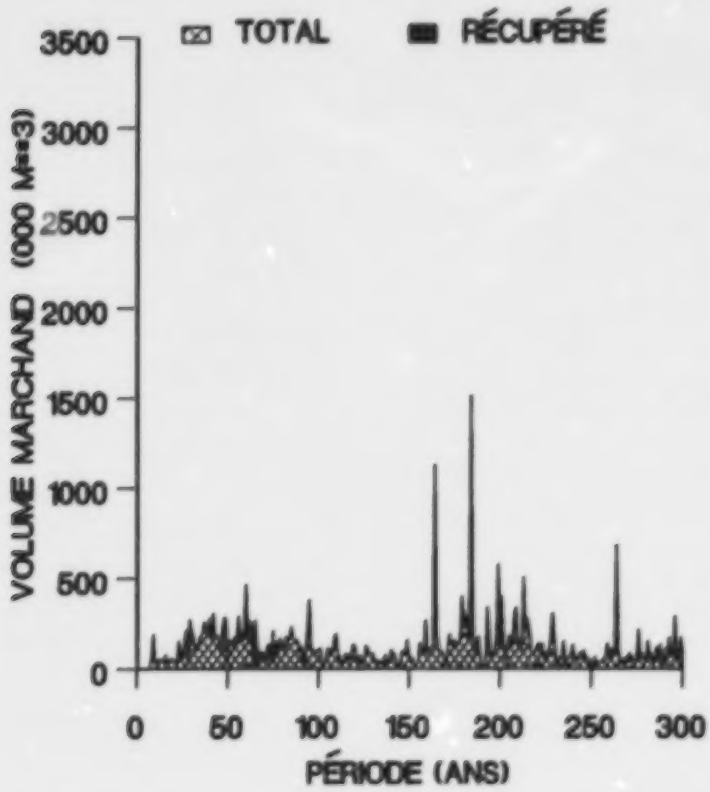


Figure 25. Test 8 : coupe annuelle.

Test 9. Option 5 (récolte annuelle = 120 000 m³).

Les résultats obtenus au test 8 indiquent que la forêt de base peut supporter de façon soutenue une coupe annuelle d'environ 122 000 m³. Le test 9 est identique au test 1, sauf que la récolte annuelle prescrite est de 120 000 m³ et que la marge est de 115 000 m³ à 125 000 m³. La figure 26 indique que la réduction relativement faible de la CAP peut être maintenue pendant toute la période de 300 ans. Bien que le matériel forestier fluctue encore considérablement, principalement à cause des années de graves incendies (64e et 219e), il n'y aucune indication de diminution dans la figure 27; en fait, le matériel final (4 190 357 m³) est supérieur d'environ 700 000 m³ à celui qu'indique le test 1.

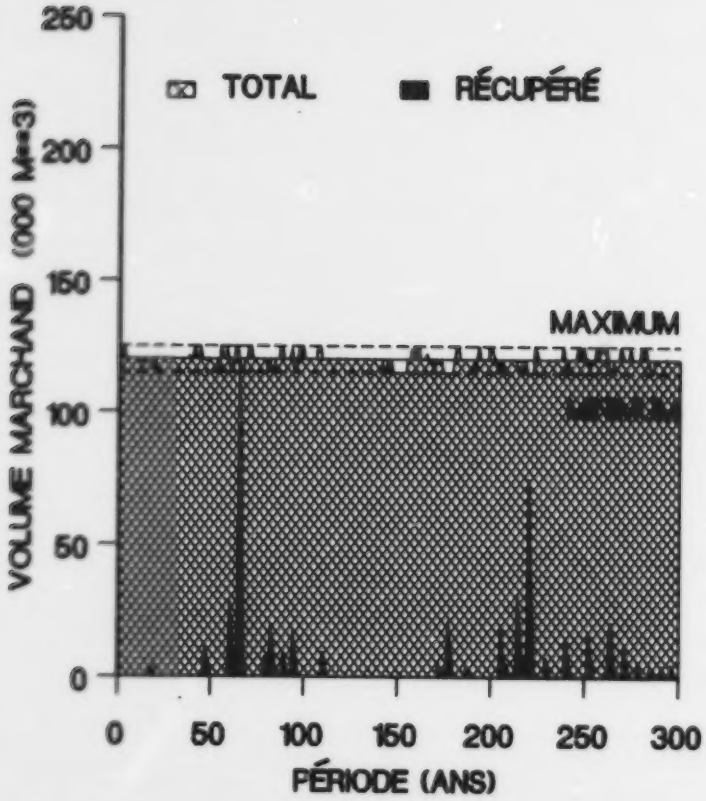


Figure 26. Test 9 : coupe annuelle.

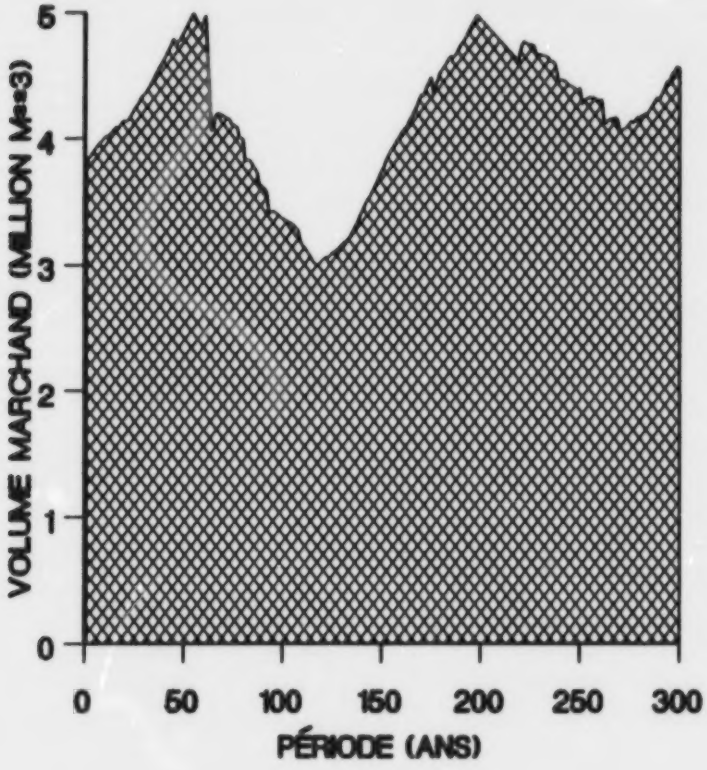


Figure 27. Test 9 : matériel forestier restant.

Test 10. Option 4 (récolte annuelle = 120 000 m³/ha).

Ce test sert à simuler la dernière option de récolte (option 4), selon laquelle les peuplements récoltés sont choisis par ordre décroissant du volume marchand. Comme dans le cas du test 9, la récolte annuelle prescrite est fixée à 120 000 m³. Pareille stratégie a un effet marqué sur la configuration de récolte (figure 28). Il y a une période d'insuffisance de récolte de 50 à 60 ans après les graves incendies de la 64^{e} année. De plus, il y a une insuffisance, non observée aux tests antérieurs, pendant les 285^{e} et 286^{e} années qui semble découler des graves incendies de la 219^{e} année. La figure 29 indique l'effet de la nouvelle stratégie sur la distribution par classe d'âge à des intervalles de 100 ans. Puisque ce sont principalement les peuplements à volume élevé des classes de stations 1 et 2 qui sont récoltés, une forte proportion des peuplements de la classe de station 3 commencent à subir une baisse de volume, parce qu'ils ne sont pas récoltés, après avoir atteint l'âge de 150 ans. À la 100^{e} année, par exemple, il y a des peuplements de la classe 3 dans toutes les classes d'âge jusqu'à celle de 205 ans. À la 200^{e} année, bon nombre de ces peuplements ont disparu, parce que leur volume a baissé jusqu'à atteindre 0 (vers l'âge de 210 ans), qu'ils ont brûlé

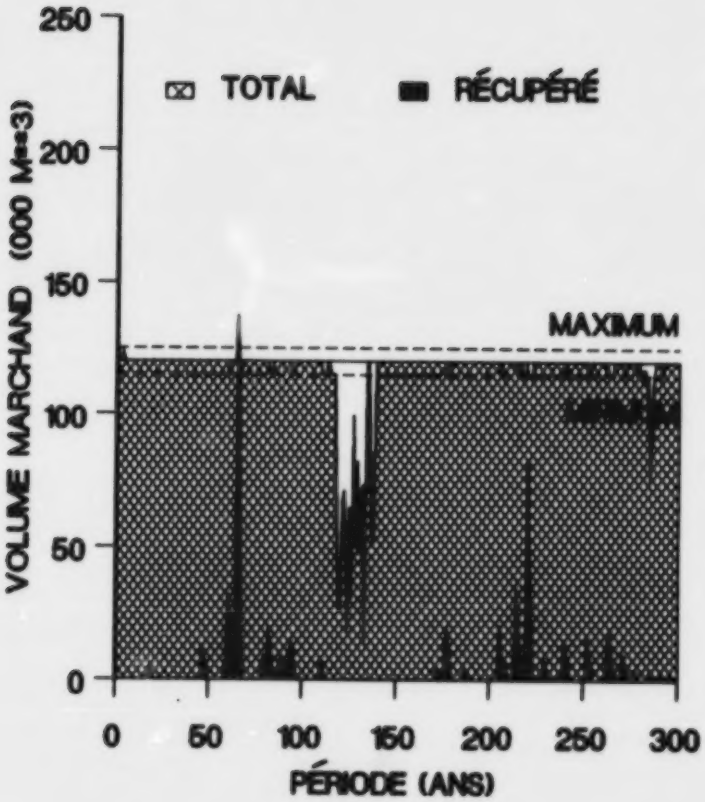


Figure 28. Test 10 : coupe annuelle.

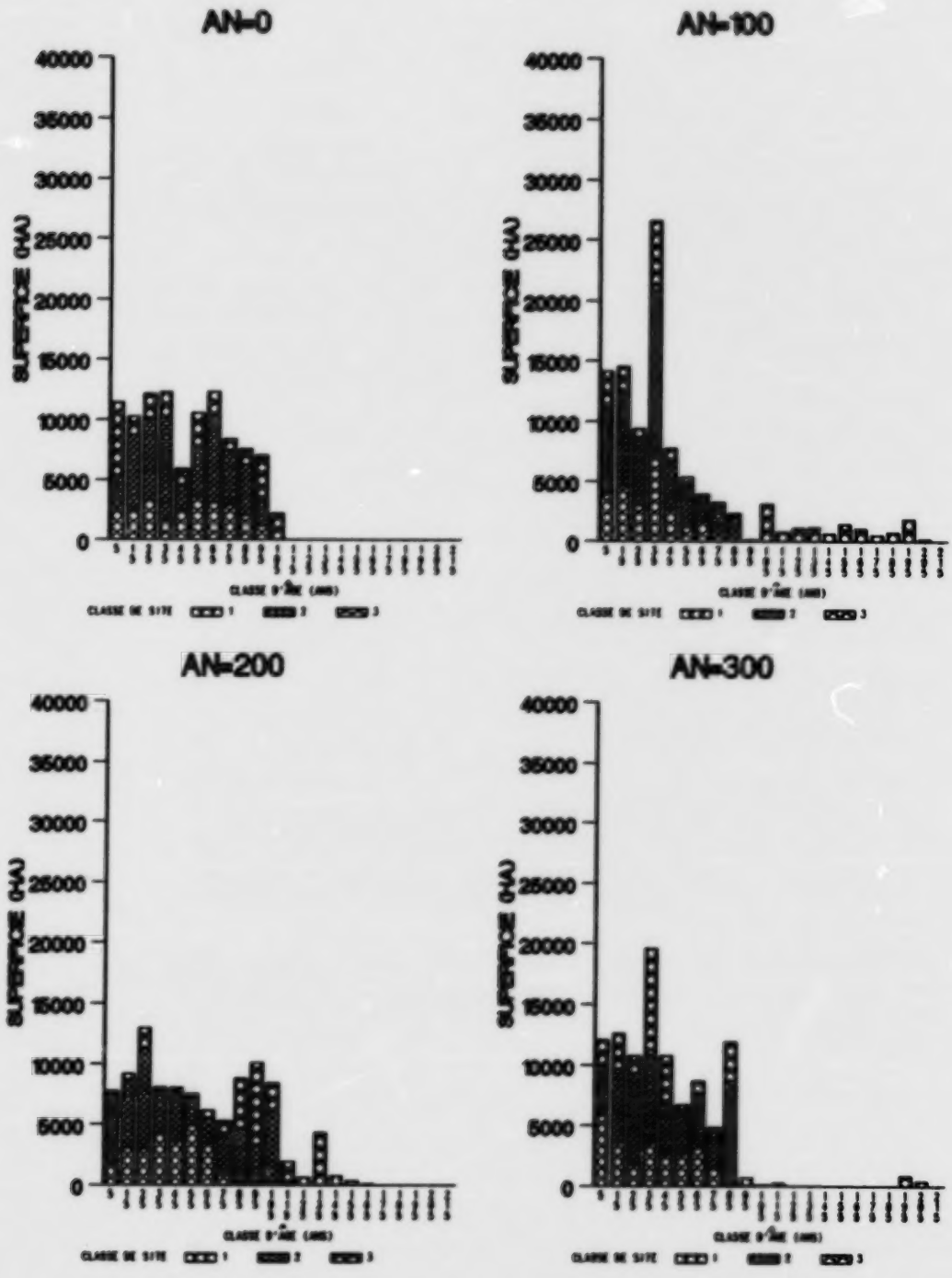


Figure 29. Test 10 : histogrammes de distribution par classe d'âge.

(le risque d'incendie augmente une fois que les peuplements ont atteint l'âge de 150 ans - voir la figure 3), ou que les peuplements comprenant plus de 90 m³/ha ont été récoltés pendant la période d'insuffisance entre les 118e et 138e années. N'était la limite d'âge de 75 ans, il est probable qu'un plus grand nombre des peuplements de la classe de station 1 auraient été récoltés, car aucun de ces peuplements n'a plus de 75 ans après l'année 0. Le matériel forestier (figure 30) fluctue considérablement plus qu'au test 9, mais le matériel final est inférieur d'environ 2 millions de m³ à celui qu'indique le test 9.

Le tableau 1 présente un résumé des résultats des tests de 1 à 10.

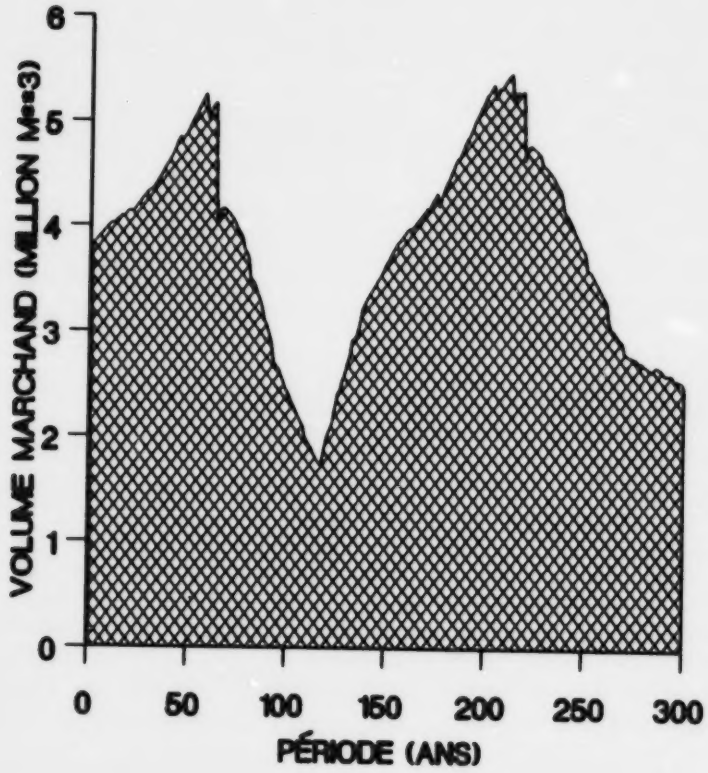


Figure 30. Test 10 : matériel forestier restant.

Tableau 1. Résumé des résultats des tests de 1 à 10 : moyennes annuelles et matériel restant final

N° de test	Superficie annuelle moyenne (ha)				Volume marchand annuel moyen (m^3)						Matériel final
	Brûlée	Récoltée	Récupérée	Totale	Récolté	Récupéré	Total	Bois ravagé par le feu		Accroissement	
								Total	Récupérable		
1	477	806	95	901	118 996	2 864	121 860	14 000	2 886	129 553	3 486 832
2	477	758	95	853	117 722	3 098	120 820	15 151	3 128	133 045	3 835 994
3	477	857	98	955	118 340	2 415	120 756	11 775	2 426	124 782	3 069 597
4	477	1 570	95	1 666	49 030	1 128	50 158	5 421	1 128	41 807	1 140 067
5	477	770	95	865	118 337	2 931	121 268	14 447	2 956	131 171	3 817 639
6	476	0	0	0	0	0	0	44 419	0	60 887	9 201 624
6A	475	0	0	0	0	0	0	39 606	0	62 428	9 359 306
7	477	430	95	525	92 071	7 509	99 579	35 426	7 554	135 085	7 563 044
8	477	623	95	718	118 557	3 462	122 014	17 545	3 509	144 090	4 970 953
9	477	716	95	812	116 553	3 372	119 925	16 474	3 406	135 544	4 190 357
10	477	730	95	825	111 616	3 536	115 152	16 937	3 556	124 249	3 795 928

CONSTATATIONS ET CONCLUSIONS

Les tests que nous avons décrits dans le présent document indiquent les genres de questions auxquelles le modèle FIRFOR peut répondre et les genres de problèmes qu'il peut aider à régler. Ces tests ne sont pas exhaustifs; on n'a nullement tenté d'éprouver une échelle de valeurs de chaque variable d'entrée, ni un éventail de combinaisons de valeurs de ces variables afin d'obtenir une stratégie d'aménagement optimale, c'est-à-dire une combinaison d'options d'aménagement et valeurs d'entrée assurant un maximum de production durable à long terme. Toutefois, il semble, d'après l'éventail restreint des tests auxquels nous avons procédés, que notre forêt hypothétique d'épinettes noires pourrait fournir environ 120 000 m^3 par année.

Bien entendu, le modèle actuel a des lacunes. Les tests ne peuvent porter que sur un seul type de forêt dans un maximum de trois classes de stations rigoureusement délimitées. En théorie, le modèle pourrait facilement être modifié de manière à porter sur de nombreux types de forêts par l'addition d'un volet à la forêt de base. On pourrait fonder le calcul de l'accroissement de chaque type de forêt sur l'indice de station plutôt que sur la classe de station. L'étape suivante logique consisterait à extraire les données d'entrée sur la forêt d'une base de données du SIG : comme nous l'avons déjà mentionné, cela est un des objectifs relatifs au modèle.

Bien que le modèle prévoie un certain nombre d'options d'aménagement forestier, ces options ont trait à la méthode de détermination de la récolte annuelle. On suppose qu'une fois récolté, brûlé ou mort, un peuplement commence immédiatement à se régénérer naturellement et que son cycle de vie se répète. Les tests ne peuvent pas porter sur des traitements sylvicoles tels que le plantage, l'éclaircie ou la fécondation, ni sur une espèce différente ou sur la régénération à l'aide de matériel de reproduction génétiquement amélioré. Certains de ces facteurs ont été intégrés à un modèle antérieur établi par l'institut, mais n'ont pas été incorporés au FIRFOR, principalement parce qu'on manquait de données d'appui. Une fois qu'on disposera de l'information nécessaire au sujet de l'effet des différents traitements sur l'accroissement, on pourra intégrer ceux-ci au FIRFOR.

Le FIRFOR permet de tenir compte de la superficie brûlée chaque année en y attribuant une valeur fixe ou en choisisant une valeur au hasard dans une distribution de Weibull qui peut être tout à fait asymétrique. La deuxième de ces possibilités est probablement la plus réaliste, si l'on connaît la superficie annuelle incendiée dans la région où la forêt se trouve et, ce qui importe encore davantage, si l'échelle de cette distribution est appropriée, c'est-à-dire porte sur des superficies à peu près égales à celle de la forêt à l'étude. Puisqu'en somme la superficie qui sera brûlée pendant toute année ne peut pas être prévue, on pourrait soutenir qu'il est inutile de simuler une superficie variable et qu'il suffit de disposer d'une moyenne (tirée d'un certain nombre de simulations ou obtenue en établissant une superficie annuelle fixe). Bien qu'on ne puisse pas prévoir les années où les incendies forestiers feront de graves ravages, il est utile d'avoir une idée des effets que de tels ravages peuvent avoir sur la récolte annuelle tant à long terme qu'à court terme, afin de pouvoir prendre des mesures pour réduire ces effets. Au chapitre des incendies, une des modifications qui devraient être apportées au FIRFOR consisterait à imposer une limite à la proportion de la récolte annuelle pour laquelle le bois récupéré peut intervenir. Au cours de certains des essais (voir, p. ex., les figures 5 et 26), la récolte de l'année suivant les graves incendies de la 64^{e} année comprenait plus de 90 % de bois endommagé par le feu. Ce bois serait très certainement inacceptable pour les scieries. On pourrait facilement intégrer au modèle une limite restreignant à, par exemple, 25 % la proportion de la récolte totale pour laquelle le bois ravagé par le feu peut intervenir (on pourrait couper et garder pour fins d'utilisation future le reste du bois en question, on pourrait le couper pendant les années suivantes, ou on pourrait ne pas le couper).

On n'a nullement tenté d'intégrer au modèle les effets d'autres ravageurs tels que les insectes et les maladies. Il en était pourtant tenu compte dans le modèle antérieur susmentionné. Ces ravageurs, contrairement au feu, sont prévisibles dans une certaine mesure. Les infestations par les insectes sont cycliques et, une fois qu'on en a détecté le début, leur effet sur l'accroissement des forêts peut être prévu et réduit. Cependant, la modélisation des effets des insectes et des maladies ainsi que des différentes stratégies de lutte contre ceux-ci est extrêmement complexe et, pour le moment, devrait probablement être isolée de celle de l'aménagement forestier à titre d'élément distinct du SSD global. Les résultats obtenus grâce à un modèle sur les ravageurs pourraient être incorporés, une fois simplifiés, à un modèle tel que le FIRFOR.

Malgré ses lacunes actuelles, le FIRFOR peut être employé par le gestionnaire forestier pour obtenir une précieuse information au sujet des effets des incendies sur la production à long terme et pour essayer différentes stratégies de récolte. Il se distingue des autres modèles d'aménagement forestier par le fait qu'on peut fixer la récolte annuelle selon le volume, moyennant une limite de superficie, ou selon la superficie, moyennant une limite de volume. On continuera de perfectionner le modèle en fonction des besoins pratiques.

RÉFÉRENCES

Armstrong, G.W.; Beck, J.A., Jr.; Phillips, B.L. 1984. Relaxing even-flow constraints to avoid infeasibility with the Timber Resources Allocation Method (RAM). Can. J. Forest Res. 14: 860-863.

Arney, J.D. 1972. Computer simulation of Douglas-fir tree and stand growth. Ph.D. thesis, School of Forestry, Oregon State Univ., Corvallis, Ore.

Arney, J.D. 1985. A modelling strategy for the growth projection of managed stands. Can. J. Forest Res. 15: 511-518.

Belcher, D.M. 1981. The user's guide to STEMS (Stand and Tree Evaluation and Modeling System). USDA Forest Serv., N. Cent. Forest Exp. Sta. Gen. Tech. Rep. NC-70.

Belcher, D.W.; Holdaway, M.R.; Brand, G.J. 1982. A description of STEMS - the stand and tree evaluation and modeling system. USDA Forest Serv., N. Cent. Forest Exp. Sta. Gen. Tech. Rep. NC-79.

Bella, I.E. 1971. A new competition model for individual trees. Forest Sci. 17: 364-372.

Brodie, J.D.; Haight, R.G. 1985. Optimization of silvicultural investment for several types of stand projection systems. Can. J. Forest Res. 15: 188-191.

Chappelle, D.E.; Mang, M.; Miley, R.C. 1976. Evaluation of Timber RAM as a forest management planning model. J. For. 74: 288-293.

Ek, A.R.; Monserud, R.A. 1974. Trials with program FOREST: growth and reproduction simulation of mixed species forest stands. Pages 56-73 in Fries, J., ed. Growth models for tree and stand simulation. Dep. For., Yield Res., Royal Coll. For., Stockholm, Res. Note 30.

Hall, T.H. 1977. Stand response following harvest. M.Sc.F. thesis, Faculty of Forestry, Univ. New Brunswick, Fredericton, N.B.

Hegyi, F. 1974. A simulation model for managing jack pine stands. Pages 74-90 in Fries, J., ed. Growth models for tree and stand simulation. Dep. For., Yield Res., Royal Coll. For., Stockholm, Res. Note 30.

Johnson, K.N.; Bell, E.F.; Burkhardt, A.F., Jr. 1977. Rotation flexibility and allowable cut. J. For. 75: 699-700.

Marshall, P.L. 1986. A decision context for timber supply modelling. For. Chron. 62: 533-536.

Miner, C.L.; Walters, N.R. 1984. STEMS: a nontechnical description for foresters. USDA Forest Serv., N. Cent. Forest Exp. Sta. Res. Rep. NC-252.

Navon, D.I. 1971. Timber RAM ... a long range planning method for commercial timber lands under multiple-use management. USDA Forest Serv., Pacific For. and Range Exp. Sta. Res. Pap. PSW-70.

Newnham, R.M. 1964. The development of a stand model for Douglas-fir. Ph.D. thesis, Fac. For., Univ. B.C., Vancouver.

Newnham, R.M. 1975. LOGPLAN-a model for planning logging operations. Can. Dep. Environ., For. Manage. Inst. Inform. Rep. FMR-X-77.

Newnham, R.M. 1976. Computer may cut costs $1-2/cord. Pulp Pap. Can. 77: 73-79.

Payandeh, B. 1974. Nonlinear site index equations for several major Canadian timber species. For. Chron. 50: 194-196.

Plonski, W.L. 1974. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. Ont. Min. Natural Resources.

Reed, W.J.; Errico, D. 1985. Assessing the long-run yield of a forest stand subject to the risk of fire. Can. J. Forest Res. 15: 680-687.

SAS Institute Inc. 1985. SAS/GRAPH User's Guide, Version 5 Edition. SAS Inst. Inc., Cary, N.C., USA.

Tait, D.E. 1986. A dynamic programming solution of financial rotation ages for coppicing tree species. Can. J. Forest Res. 16: 799-801.

Van Wagner, C.E. 1978. Age-class distribution and the forest cycle. Can. J. Forest Res. 8: 220-227.

Van Wagner, C.E. 1983. Simulating the effect of forest fire on long-term annual timber supply. Can. J. Forest Res. 13: 451-457.

ANNEXES

ANNEXE I

La présente annexe comprend un imprimé du programme en FORTRAN du modèle FIRFOR, une description des fichiers d'entrée et de sortie (tableau I-1), et un organigramme sommaire indiquant les relations entre les segments du programme et les fichiers des entrées/sorties. En dernier lieu, elle présente un exemple, fondé sur le test 1, des fichiers de sortie FORMOD.OUT et AGECLA.TAB.

Des explications ont été intercalées dans l'imprimé du programme à des intervalles appropriés pour aider le lecteur à comprendre comment le programme fonctionne. Bien qu'elles ne soient pas exhaustives, ces explications devraient permettre à l'utilisateur de vérifier la validité du programme ou d'y apporter des modifications, s'il le désire. Le programme a été établi en FORTRAN 77 en vue d'une utilisation sur mini-ordinateur Digital Equipment Corporation VAX/785 à l'aide du système d'exploitation VAX/VMS V4.3. Pour obtenir des copies du programme, il suffit d'envoyer un ruban à huit pistes à l'adresse suivante :

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Gouvernement du Canada
CHALK RIVER (Ontario)
KOJ 1JO
Attention : R.M. Newnham

```
      DIMENSION A(3,225),MAGE(3),MHA(3),MHO(3),AR(3),AREG(3),HSALV(5),
     1AV(12),ASALV(5)
      VIRTUAL GHA(3,225),P(3,225),FP(3,225),V(3,225),VHA(3,225)
      INTEGER*4 ISEED,JSEED,IOUT(12),JOUT(12),JVOL
      BYTE YN,YNF,YNP,YNR,YNT,YNY,YNH,INFIL(20),TEST(8),TITLE(45),
     1YES,YNS,YSAS
      DATA YES/'Y'/
```

Les valeurs sont fixées d'après le nombre de classes de stations (3) indiquées dans les tables de production de Plonski pour l'épinette noire, l'âge maximum (225) que les peuplements d'épinettes noires peuvent atteindre selon le modèle, et le nombre d'options (5) ayant trait à la durée de la période de récupération. La valeur 12 correspond aux variables de sortie. INFIL, TEST et TITLE sont des variables à caractères servant à indiquer respectivement le fichier auquel les données sur la forêt initiale peuvent être emmagasinées, le numéro de test et une description succincte du test. Pourvu que des changements appropriés soient apportés au programme (principalement aux boucles DO et aux boucles implicites DO), on peut faire augmenter les valeurs des variables, mais on ne devrait pas les réduire.

```
      OPEN(UNIT=2,NAME='FORMOD.INP',FORM='FORMATTED',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=3,NAME='FORMOD.OUT',FORM='FORMATTED',STATUS='NEW')
      OPEN(UNIT=11,NAME='SUBR.TXT',FORM='FORMATTED',STATUS='OLD',
     1READONLY)
```

Une description de ces fichiers, entre autres, figure au tableau 1.

```
      WRITE(5,5)
      WRITE(2,5)
5     FORMAT(///' Désirez-vous que les résultats de ce test soient tracés*
      '/
     1'   par SAS/GRAPH (Y/N)? ', $)
      READ(5,140) N,YSAS
      WRITE(2,145) YSAS
      IF(YSAS.EQ.YES) OPEN(UNIT=10,NAME='SGRAPH.DAT',FORM='FORMATTED',
     1STATUS='NEW')
      ER=1.E-10
      WRITE(5,10)
      WRITE(2,10)
10    FORMAT(///' ENTRER la valeur de départ des nombres aléatoires
      (<2147483647) : '/)
      READ(5,*) ISEED
      WRITE(2,*) ISEED
      JSEED=ISEED
      WRITE(5,20)
      WRITE(2,10)
20    FORMAT(///' PRODUIRE LES DONNÉES SUR LA FORÊT INITIALE'//
     1' Désirez-vous : '/
     2'   1.  une DISTRIBUTION UNIFORME des superficies par classe
     3'       d'âge d'un an'/
     4'   2.  une DISTRIBUTION ALÉATOIRE des superficies par classe
     5'       d'âge d'un an'/
     6'   3.  une forêt déjà produite?'//
     7' ENTRER 1, 2 ou 3 :  ',$)
      READ(5,*) IND
      WRITE(2,*) IND
      IF(IND.EQ.3) GO TO 120
      WRITE(5,30)
      WRITE(2,30)
30    FORMAT(//' ENTRER le nombre de classes de stations (Max. = 3) :
      ',$)
      READ(5,*) IC
      WRITE(2,*) IC
      WRITE(5,40)
      WRITE(2,40)
40    FORMAT(//' Pour chaque classe de station, ENTRER la classe d'âge la
     1'/' plus élevée et la superficie totale (ha), p. ex., 140,125000'/)
      DO GO I=1,IC
      WRITE(5,50) I
      WRITE(2,50) I
50    FORMAT(' CLASSE DE STATION',12,': ',$)
      READ(5,*) MAGE(I),AR(I)
60    WRITE(2,*) MAGE(I),AR(I)
      IF(IND.EQ.2) GO TO 80
      DO 75 I=1,IC
      F=MAGE(I)
```

*Le programme est écrit en anglais.

```
        F=AR(I)/F
        DO 70 J=1,MAGE(I)
70      A(I,J)=F
        K=MAGE(I)+1
        DO 75 J=K,225
        A(I,J)=0.
75      V(I,J)=0.
        GO TO 110
```

Pour obtenir une distribution uniforme par classe d'âge (IC=1), on attribue une superficie A(I,J) à chaque classe d'âge d'un an à l'intérieur de chaque classe de station, cette superficie égalant la superficie totale de la classe de station AR(I), divisée par l'âge maximum MAGE(I). On attribue la valeur 0 à toutes les superficies A(I,J) pour lesquelles J > MAGE(I).

```
80      DO 105 I=1,IC
        F=0.
        DO 90 J=1,MAGE(I)
        G=RAN(ISEED)
        F=F+G
90      V(I,J)=G
C***    V(I,J) sert au stockage temporaire.
        G=AR(I)/F
        DO 100 J=1,MAGE(I)
100     A(I,J)=G*V(I,J)
        K=MAGE(I)+1
        DO 105 J=K,225
        A(I,J)=0.
105     V(I,J)=0.
```

Pour obtenir une distribution aléatoire par classe d'âge (IC=2), on emploie l'échelle V(I,J) pour stocker temporairement les nombres aléatoires. F est la somme de ces nombres pour la classe de station et G est la superficie divisée par cette somme. La superficie attribuée à chaque classe d'âge d'un an doit donc égaler : AR(I)r/F, si r est le nombre aléatoire correspondant à la classe d'âge (0 < r < 1).

```
110     CALL VOLUME(IC,IV,YNY,ER,VHA,GHA)
C***    Le sous-programme VOLUME produit des valeurs de production et
C***      attribue un volume marchand (m**3) et un taux d'accroissement
C***      (m**/ha) à chaque classe d'âge dans chaque classe de station.
        DO 115 I=1,IC
        DO 115 J=1,MAGE(I)
        IF(VHA(I,J).NE.ER) GO TO 112
        V(I,J)=ER
```

On attribue un nombre très faible, ER (0.1E-10), plutôt que 0, aux classes d'âge qui sont présentes dans la forêt mais qui ne comprennent pas de bois marchand, sinon le modèle indiquera que ces classes d'âge ont besoin de régénération et remettra leur âge à 0.

```
        GO TO 115
```

```
112       V(I,J)=A(1,J)*VHA(I,J)
115       CONTINUE
          GO TO 180
120       WRITE(5,130)
          WRITE(2,130)
130       FORMAT(///' ENTRER le nom du fichier auquel les données sur la
          forêt initiale sont emmagasinées
         1d : '/)
          READ(5,140) N,INFIL
140       FORMAT(Q,45A1)
          WRITE(2,145) (INFIL(I),I=1,N)
145       FORMAT(10X,45A1)
          INFIL(N+1)="0
          OPEN(UNIT=9,NAME=INFIL,FORM='FORMATTED',STATUS='OLD',READONLY)
          READ(9,146) DATE,ITEST,(TEST(I),I=1,ITEST)
146       FORMAT(F8.4,I4,4X,8A1)
          WRITE(5,147) (INFIL(I),I=1,N),(TEST(I),I=1,ITEST),DATE
          WRITE(2,147) (INFIL(I),I=1,N),(TEST(I),I=1,ITEST),DATE
147       FORMAT(//' File : ',<N>A1,4X,'Test No. : ',<ITEST>A1,4X,'Date : ',
          F8.4
         1//'      Est-ce le fichier approprié (Y/N)? ',$)
          READ(5,140) N,YN
          WRITE(2,145) YN
          IF(YN.NE.YES) GO TO 120
          READ(9,150) IC,IV,(MAGE(I),I=1,IC)
150       FORMAT(8I4)
          CALL VOLUME(IC,IV,YNY,ER,VHA,GHA)
          READ(9,160) ISALV,(HSALV(I),I=1,5)
160       FORMAT(I4,5F11.2)
          DO 170 I=1,IC
          K=MAGE(I)+1
          DO 165 J=K,225
          A(I,J)=0.
165       V(I,J)=0.
          READ(9,160) K,AR(I)
          DO 170 J=1,MAGE(I)
170       READ(9,160) K,A(I,J),V(I,J)
          CLOSE(UNIT=9)
180       CALL PFIRE(IC,IV,IAF,IFR,YNF,PF,FP,WB,WC,AR)
C***      Pour chaque classe de station, le sous-programme PFIRE attribue
C***        une proportion relative de la superficie de chaque classe d'âge
C***        qu'on perdra à cause du feu.  La proportion de la superficie
C***        totale qu'on perd chaque année à cause du feu est soit une valeur
C***        constante, soit une valeur tirée au hasard d'une distribution de
C***        Weibull précise.
          CALL MANAGE(IC,IH,MHA,MHO,MINA,AAC,HMIN,PSALV,ISALV,FSALV,
         1YNH,COMPF,IAV,ALO,AMN,AUP,VLO,VUP)
C***      Le sous-programme MANAGE introduit une des cinq options
C***        d'aménagement possibles (y compris celle de l'aménagement nul).
C***        De plus, il introduit les conditions de récupération du bois
C***        brûlé.
          WRITE(5,190)
          WRITE(2,190)
190       FORMAT(///' ENTRER le nº du test (max. de 8 caractères) : '/)
```

```
      READ(5,140) ITEST,TEST
      WRITE(2,145) (TEST(I),I=1,ITEST)
      WRITE(5,195)
      WRITE(2,195)
195   FORMAT(//' ENTRER la date en SI (p. ex., 85.1122, signifiant'/
     1'    le 22 NOVEMBRE 1985) : ',$)
      READ(5,*) DATE
      WRITE(2,*) DATE
      WRITE(5,210)
      WRITE(2,210)
210   FORMAT(/' ENTRER le titre (max. de 45 caractères) : '/)
      READ(5,140) NTIT,TITLE
      WRITE(2,145) (TITLE(I),I=1,NTIT)
      WRITE(3,220) (TEST(I),I=1,ITEST),TITLE
220   FORMAT(1H1,10X,<ITEST>A1,'.  ',45A1)
      GO TO (222,224,226),IV
222   WRITE(3,223)
223   FORMAT(//20X,'Type de forêt :  ÉPINETTE NOIRE'/)
      GO TO 228
224   WRITE(3,225)
225   FORMAT(//20X,'Type de forêt :  PIN ROUGE'/)
      GO TO 228
226   WRITE(3,227)
227   FORMAT(//20X,'Type de forêt :  RÉSERVÉ À UN USAGE FUTUR'/)
228   LINES=5
      IYR=0
      WRITE(5,230)
      WRITE(2,230)
230   FORMAT(//' Désirez-vous un tableau sommaire des données sur la'/
     1' forêt initiale (Y/N)?  ',$)
      READ(5,140) N,YNT
      WRITE(2,145) YNT
      IF(YNT.NE.YES) GO TO 260
      OPEN(UNIT=4,NAME='AGECLA.TAB',FORM='FORMATTED',STATUS='NEW')
      WRITE(5,240)
      WRITE(2,240)
240   FORMAT (// ' La superficie et le volume de chaque classe d'âge'/
      sont imprimés.'/
     1'    ENTRER le nombre d'années par classe d'âge :  ',$)
      READ(5,*) ICLASS
      WRITE(2,*) ICLASS
      WRITE(5,250)
      WRITE(2,250)
250   FORMAT(//' À quel intervalle désirez-vous que les tableaux de'/
     1/'   distribution par classe d'âge soient imprimés?'/
     2' ENTRER le nombre d'années :  ',$)
      READ(5,*) IINT
      WRITE(2,*) IINT
      KLINES=60
      CALL TABLE (IC,IYR,ITEST,TEST,DATE,KLINES,ICLASS,A,V)
C***  Le sous-programme TABLE produit des tableaux de distribution par
C***    classe d'âge
260   WRITE(5,270)
      WRITE(2,270)
```

```
270     FORMAT(//' Désirez-vous que les distributions initiale et
        périodiques'/
       1'    par classe d'âge soient tracées (Y/N)?  ',$)
```

La réponse à cette question doit être <<Y>> si l'on veut que des histogrammes par classe d'âge soient tracés à l'aide du logiciel de l'institut ou du SAS/GRAPH.

```
        READ(5,140) N,YNP
        WRITE(2,145) YNP
        IF(YNP.NE.YES) GO TO 300
        WRITE(5,280)
        WRITE(2,280)
280     FORMAT(//' ENTRER le nombre d'années par classe d'âge :  ',$)
        READ(5,*) JCLASS
        WRITE(2,*) JCLASS
        WRITE(5,290)
        WRITE(2,290)
290     FORMAT(//' À quel intervalle désirez-vous que les distributions
        par'/
       1'    classe d'âge soient tracées?'/
       2' ENTRER le nombre d'années :  ',$)
        READ(5,*) JINT
        WRITE(2,*) JINT
        OPEN(UNIT=1,NAME='AGECLA.PLT',FORM='FORMATTED',STATUS='NEW')
        IF(YSAS.EQ.YES) OPEN(UNIT=12,NAME='SHIST.DAT',FORM='FORMATTED',
       1STATUS='NEW')
        AMAX=0.
        CALL PLOTAC(IC,IYR,ITEST,TEST,DATE,JCLASS,A,AMAX,YSAS)
300     WRITE(3,310)
310     FORMAT(//10X,'F O R Ê T   I N I T I A L E'///
       120X,'Classe        Superficie   Volume'/
       220X,'de station    (ha)         marchand (m**3)'//)
        LINES=LINES+8
        ATOT=0
        VTOT=0
        DO 340 I=1,IC
        ATOT=ATOT+AR(I)
        SV=0.
        DO 320 J=1,MAGE(I)
320     SV=SV+V(I,J)
        VTOT=VTOT+SV
        IOUT(1)=AR(I)+.5
        IOUT(2)=SV+5
        WRITE(3,330) I,IOUT(1),IOUT(2)
330     FORMAT(20X,I3,I12,I13)
340     LINES=LINES+1
        IOUT(1)=ATOT+.5
        IOUT(2)=VTOT+.5
        WRITE(3,350) IOUT(1), IOUT(2),JSEED,ISEED
350     FORMAT(/20X,'TOTAL',I10,I13////20X,'valeur de départ des nombres'//
        aléatoires : '//
       130X,'Initiale : ',I11/30X, 'Au début de la simulation : ',I11///)
        LINES=LINES+11
```

```
      IF(IAV.EQ.0.) GO TO 358
      IOUT(1)=AMN
      IOUT(2)=ALO
      IOUT(3)=AUP
      IOUT(4)=VLO
      IOUT(5)=VUP
      IOUT(6)=AAC
      IF(IAV.EQ.1) WRITE(3,354) (IOUT(I),I=1,5)
354   FORMAT (////20X,'La récolte annuelle est fixée selon la
      SUPERFICIE.'//
     125X,'Récolte annuelle prévue (ha)   =',I8/
     225X,'     Marge (ha)                =',I8,' -',I8/
     325X,'Marge de volume (m**3)         =',I8,' -',I8//
     420X,'La superficie prévue sera récoltée chaque année, pourvu'/
     525X,'que le volume récolté entre dans la marge'/
     625X,'prescrite.  Si nécessaire, on rajustera la superficie
      jusqu'à'/
     725X,'ce que le volume entre dans cette marge'///)
      IF(IAV.EQ.2) WRITE(3,356) IOUT(6),IOUT(4),IOUT(5),IOUT(2),IOUT(3)
356   FORMAT(////20X,'La récolte annuelle est fixée selon le VOLUME.'//
     125X,'Récolte annuelle prévue (m**3) =',I8/
     225X,'     Marge (m**3)              =',I8,' -',I8/
     325X,'Marge de superficie (ha)       =',I8,' -',I8//
     420X,'Le volume prévu sera récolté chaque année pourvu'/
     525X,'que la superficie de récolte entre dans la marge '/
     625X,'prescrite. Si nécessaire, le volume sera rajusté jusqu'à ce
      que'/
     725X,'la superficie entre dans cette marge'///)
358   WRITE(5,360)
      WRITE(2,360)
360   FORMAT(///' À quel intervalle désirez-vous que les résultats'/
     1'   sommaires soient imprimés?'/
     2' ENTRER le nombre d'années :  ',$)
      READ(5,*) KINT
      WRITE(2,*) KINT
      WRITE(5,380)
      WRITE(2,380)
380   FORMAT(//' Désirez-vous que les résultats (volume restant,
      récolte,'/
     1'   accroissement, etc.) soient tracés chronologiquement (Y/N) :
      ',$)
```

Il suffit de répondre <<Y>> si le traçage doit être effectué à l'aide du logiciel de l'institut.

```
      READ(5,140) N,YNR
      WRITE(2,145) YNR
      WRITE(5,382)
      WRITE(2,382)
382   FORMAT(//' Désirez-vous emmagasiner les données sur l'état final
      de'/
     1'   la forêt (Y/N)?  ',$)
      READ(5,140) N,YNS
      WRITE(2,145) YNS
```

```
      WRITE(5,390)
      WRITE(2,390)
390   FORMAT(///' ENTRER le nombre d'années sur lequel porte cette
      simulation :  ',$)
      READ(5,*) NYR
      WRITE(2,*) NYR
      CLOSE(UNIT=2)
      IF(YNR.NE.YES) GO TO 400
      OPEN(UNIT=2,NAME='FORRES.PLT',FORM='FORMATTED',STATUS='NEW')
      WRITE(2,395) (TITLE(I),I=1,NTIT),(TEST(I),I=1,ITEST),DATE
395   FORMAT(IX,<NTIT>A1/' TEST NO. :  ',<ITEST>A1/' DATE : ',F8.4)
400   DO 415 I=1,5
      AV(I)=0.
      IF(IND.NE.3) HSALV(I)=0.
415   JOUT(I)=0
      DO 420 I=6,12
      AV(I)=0.
420   JOUT(I)=0
      LINES=60
      JLINES=0
      JVOL=VTOT
      NPER=0
```

L'instruction suivante marque le début de la bouche DO, qui simule l'accroissement, les incendies et la récolte que subit la forêt chaque année.

```
      DO 580 N=1,NYR
      IF(IAE.EQ.2) PF=WB*(-ALOG(1.-RAN(ISEED)))**(1./WC)
C***  PF est la proportion de la superficie totale qui brûlera pendant
C***      l'année N
      VFSALV=0.
      VFLOSS=0.
      VGROW=0.
      AFIR=0.
      VHARV=0.
      VSALV=0.
      VCUT=0.
      ASUM=0.
      SALVA=0.
      AHARV=0.
      DO 421 I=1,3
      DO 421 J=1,225
421   P(1,J)=0.
      CALL HARV(IC,IH,MHA,MHO,ER,AAC,VHARV,HSALV,A,V,P,AREG,VHA,GHA,
     1VSALV,YNH,COMPF,MINA,HMIN,ASUM,ASALV,SALVA,AHARV,IAV,ALO,AMN,AUP,
     2VLO,VUP)
C***  Le sous-programme HARV détermine les volumes à récolter dans chaque
C***      classe d'âge relevant de chaque classe de station, selon
C***      l'option d'aménagement choisie
C***  Calculer la mortalité :
      G=1.
      IF(IFR.EQ.1) GO TO 426
```

```
      K=0
      G=0.
      DO 422 I=1,IC
      DO 422 J=1,225
      IF(A(I,J).LE.0.) GO TO 422
      G=G+FP(I,J)*A(I,J)
422   CONTINUE
      G=ATOT/G
```

Si IFR = 2, p. ex., si la proportion de la superficie totale brûlée pendant toute année varie selon la classe d'âge (voir la figure 3), G représente la superficie totale de la forêt divisée par la somme des produits de la multiplication de la proportion relative par la superificie de chaque classe d'âge.

```
426   DO 430 I=1,IC
      DO 430 J=1,225
      IF(VHA(I,J).LE.0.) GO TO 428
      IF(V(I,J).EQ.ER) GO TO 430
C***  Calculer la mortalité naturelle :
      IF(VHA(I,J)+GHA(I,J).GE.ER) GO TO 428
```

La mortalité naturelle se produit quand le volume prévu d'une classe d'âge pour l'année suivante est inférieur à 0.1E-10. AREG(I) est la superficie de la classe de stations I qui sera régénérée pendant l'année courante.

```
      AREG(I)=AREG(I)+A(I,J)
      A(I,J)=0.
      V(I,J)=ER
      GO TO 430
C***  Calculer les pertes attribuables aux incendies :
428   H=PF*FP(I,J)*G
```

Pour chaque combinaison de classes de stations et de classes d'âge, H est la proportion de la superficie devant brûler.

```
      VH=H*V(I,J)
      VFLOSS=VFLOSS+VH
      V(I,J)=V(I,J)-VH
      VH=A(I,J)*H
      A(I,J)=A(I,J)-VH
      AREG(I)=AREG(I)+VH
      AFIR=AFIR+VH
430   CONTINUE
      IF(YNH.NE.YES) GO TO 480
      IF(PF.LT.FSALV) GO TO 480
      VFSALV=VFLOSS*PSALV
      AFSALV=AFIR*PSALV
C***  Calculer le volume du bois récupérable et l'attribuer
C***      proportionnellement aux années suivantes :
      GO TO (440,450,460,470),ISALV
440   HSALV(1)=HSALV(1)+VFSALV
```

```
      ASALV(1)=ASALV(1)+AFSALV
      GO TO 480
      HSALV(1)=HSALV(1)+VFSALV*.6666667
      HSALV(2)=HSALV(2)+VFSALV*.3333333
      ASALV(1)=ASALV(1)+AFSALV*.6666667
      ASALV(2)=ASALV(2)+AFSALV*.3333333
      GO TO 480
460   HSALV(1)=HSALV(1)+VFSALV*.5
      HSALV(2)=HSALV(2)+VFSALV*.3333333
      HSALV(3)=HSALV(3)+VFSALV*.1666667
      ASALV(1)=ASALV(1)+AFSALV*.5
      ASALV(2)=ASALV(2)+AFSALV*.3333333
      ASALV(3)=ASALV(3)+AFSALV*.1666667
      GO TO 480
470   HSALV(1)=HSALV(1)+VFSALV*.5
      HSALV(2)=HSALV(2)+VFSALV*.25
      HSALV(3)=HSALV(3)+VFSALV*.125
      HSALV(4)=HSALV(4)+VFSALV*.125
      ASALV(1)=ASALV(1)+AFSALV*.5
      ASALV(2)=ASALV(2)+AFSALV*.25
      ASALV(3)=ASALV(3)+AFSALV*.125
      ASALV(4)+ASALV(4)+AFSALV*.125
480   VRES=0.
C***  Projeter l'accroissement de la forêt pour une année :
      DO 500 I=1,IC
      IF(IH.EQ.1.OR.IH.GT.3) L=224
      IF(IH.EQ.2.OR.IH.EQ.3) L=MHA(I)-1
      DO 490 J=1,L
      K=L-J+1
      A(I,K+1)=A(I,K)
      V(I,K+1)=A(I,K+1)*VHA(I,K+1)
      IF(VHA(I,K+1).EQ.ER) V(I,K+1)=ER
490   VRES=VRES+V(I,K+1)
500   A(I,1)=AREG(I)
      X=PF*100.
      VGROW=VRES-VTOT+VHARV+VFLOSS-VSALV
```

L'accroissement annuel brut, VGROW, est égal au changement net du matériel, VRES - VTOT, auquel on ajoute le volume des arbres sur pied récoltés, VHARV - VSALV, et le volume des arbres perdus à cause des incendies pendant l'année. VSALV est le volume du bois brûlé pendant les années antérieures qui constitue une partie de la récolte de l'année courante.

```
      VTOT=VRES
      VCUT=VHARV
      VHARV=VHARV-VSALV
      IOUT(1)=AFIR+.5
      IOUT(2)=VRES+.5
      IOUT(3)=VHARV+.5
      ICUT(4)=VSALV+.5
      IOUT(5)=VCUT+.5
      IOUT(6)=VFLOSS+.5
      IOUT(7)=VFSALV+.5
```

```
      IOUT(8)=VGROW+.5
      IOUT(9)=ASUM+.5
      IOUT(10)=SALVA+.5
      IOUT(11)=AHARV+.5
      AV(1)=AV(1)+X
      AV(2)=AV(2)+AFIR
      AV(3)=AV(3)+VRES
      AV(4)=AV(4)+VHARV
      AV(5)=AV(5)+VSALV
      AV(6)=AV(6)+VCUT
      AV(7)=AV(7)+VFLOSS
      AV(8)=AV(8)+VFSALV
      AV(9)=AV(9)+VGROW
      AV(10)=AV(10)+ASUM
      AV(11)=AV(11)+SALVA
      AV(12)=AV(12)+AHARV
      IF(YNR.EQ.YES) WRITE(2,510) N,X,(IOUT(I),I=1,11)
510   FORMAT(I5,F7.2,10I10)
      IF(YSAS.EQ.YES) WRITE(10,515) N,(IOUT(I),I=1,11),DATE,
     1(TEST(I),I=1,ITEST)
515   FORMAT(I4,I6,10I10,F9.4,1X,8A1)
      DO 520 I=1,7
520   JOUT(I)=JOUT(I)+IOUT(I)
      JOUT(2)=VRES+.5
      DO 525 I=9,11
525   JOUT(I)=JOUR(I)+IOUT(I)
      IF(N/KINT*KINT.NE.N) GO TO 570
      K=N-KINT+1
      NPER=NPER+1
      IF(LINES.LT.45) GO TO 540
      WRITE(3,530) (TEST(I),I=1,ITEST),DATE
530   FORMAT(1H1,115X,'Test :  ',<ITEST>A1/116X,'Date : ',F8.4//
     11X,'Années de la période',17X,'S u p e r f i c i e'27X,'V o l u m e
     2 m a r c h a n d    (m * * 3)'/3X,'N°.'/
     317X,'Brûlé   Récolté  Récupéré  Coupe totale   Accrssmnt. rest.'/
     Récolté 4 Récupéré    Coupe totale   Pertes att. aux inc.'/
     515X,'(%)    (ha)    (ha)    (ha)       (ha)',51X,'Total récupérable
     6e'//)
      LINES=10
540   Y=JOUT(1)
      Y=Y/ATOT*100.
      JOUT(8)=JOUT(2)-JVOL+JOUT(3)+JOUT(6)-JOUT(4)
      JVOL=JOUT(2)
      WRITE(3,550) NPER,K,Y,JOUT(1),(JOUT(I),I=9,11),(JOUT(I),I=2,8)
550   FORMAT(1X,I4,I6,'-',F7.2,I7,I8,I9,I10,I12,5I11,I10)
      DO 555 I=1,12
555   JOUT(I)=0
      LINES=LINES+1
      IF(LINES/5*5.NE.LINES) GO TO 570
      WRITE(3,560)
560   FORMAT(20X)
570   IF(JLINES/10*10..EQ.JLINES) WRITE(5,530) (TEST(I),I=1,ITEST),DATE
      WRITE(5,550) N,N,X,IOUT(1),(IOUT(I),I=9,11),(IOUT(I),I=2,8)
      JLINES=JLINES+1
```

```
      IF(YNT.EQ.YES.AND.N/IINT*IINT.EQ.N) CALL TABLE(IC,N,ITEST,TEST,
     1DATE,KLINES,ICLASS,A,V)
      IF(YNP.EQ.YES.AND.N/JINT*JINT.EQ.N) CALL PLOTAC(IC,N,ITEST,TEST,
     1DATE,JCLASS,A,AMAX,YSAS)
580   CONTINUE
      IF(LINES.LT.45) GO TO 582
      WRITE(3,530) (TEST(I),I=1,ITEST),DATE
      LINES=10
582   F=NYR
      AV(1)=AV(1)/F
      DO 584 I=2,12
      AV(I)=AV(I)/F
584   IOUT(I-1)=AV(I)+.5
      WRITE(3,586) AV(1),IOUT(1),(IOUT(I),I=9,11),(IOUT(I),I=2,8)
586   FORMAT(/1X,'moyennes : ',F7.2,I7,I8,I9,I10,I12,5I11,I10)
      WRITE(5,590)
590   FORMAT(///' Les données d'entrée aux fins de ce test sont énumérées
     1au fichier FORMOD.INP
     1.  Les sorties du test '/' sont énumérées au fichier FORMOD.OUT, qui
     2comprend également des instructions sur l'obtention de sorties
     3facultatives'//)
      WRITE(3,220) (TEST(I),I=1,ITEST),TITLE
      IF(YNY.EQ.YES) WRITE(3,600)
600   FORMAT(//10X,'Les données de traçage des courbes de production sont
     1emmagasinées au fichier FYIELD.PLT (Format : F4.0,F8.2)')
      IF(YNF.EQ.YES) WRITE(3,610)
610   FORMAT(//10X,'Les données de traçage des courbes de probabilité
     1d'incendie sont stockées au fichier FPFIRE.PLT (Format :
     1F4.0,F8.4)')
      IF(YNT.EQ.YES) WRITE(3,620)
620   FORMAT(//10X,'Les tableaux de distribution par classe d'âge sont
     1emmagasinés au fichier AGECLA.TAB')
      IF(YNT.EQ.YES) CLOSE(UNIT=1)
      IF(YNP.EQ.YES) WRITE(3,630) AMAX
630   FORMAT(//10X,'Les données de traçage des distributions par classe
     1d'âge
     1sont emmagasinées au fichier AGECLA.PLT   (Format :  F4.0,F8.0)'/
     220X,'Superficie maximum (ha) de toute classe =',F8,0)
      CLOSE(UNIT=1)
      IF(YNR.NE.YES) GO TO 638
      J=-1
      X=-1.
      DO 637 I=1,11
637   IOUT(I)=-1
```

Le logiciel de traçage de l'institut à exploiter grâce au traceur Nicolet ZETA8 exige que le dernier article de tout ensemble de données comprenne des valeurs de -1 pour chaque variable.

```
      WRITE(2,510) J,X,(IOUT(I),I=1,11)
      WRITE(3,635)
635   FORMAT(//10X,'Les données de traçage des résultats sont emmagasinées
     1au fichier FORRES.PLT   (Format : F5,0,F7.2,10F10.0)'/
```

```
     210X,'Pour transformer ces données en un format propice au traçage,
     3  passer le programme PLORES')
638   IF(YNS.NE.YES) GO TO 670
      OPEN(UNIT=1,NAME='FOREST.DAT',FORM='FORMATTED',STATUS='NEW')
      WRITE(1,146) DATE,ITEST,(TEST(I),I=1,ITEST)
      DO 640 I=1,IC
      MAGE(I)=0
      DO 640 J=1,225
      IF(A(I,J).GT.0..AND.J.GT.MAGE(I)) MAGE(I)=J
640   CONTINUE
      WRITE(1,150) IC,IV,(MAGE(I),I=1,IC)
      WRITE(1,160) ISALV,(HSALV(I),I=1,5)
      DO 650 I=1,IC
      WRITE(1,160) I,AR(I)
      DO 650 J=1,MAGE(I)
650   WRITE(1,160) J,A(I,J),V(I,J)
      CLOSE(UNIT=1)
      WRITE(3,660)
660   FORMAT(//10X,'Les données sur l'état final de la forêt sont
     1emmagasinées au fichier FOREST.DAT.  Ces données peuvent être
      employées
     2'/23X,'à titre de données d'entrée d'une autre simulation')
670   IF(YSAS.EQ.YES) WRITE(3,675)
675   (FORMAT(//10X,'Les données de traçage à l'aide du SAS/GRAPH sont
     1emmagasinées au fichier SGRAPH.DAT')
      WRITE(3,680) ISEED
680   FORMAT (///20X,'Valeur de départ finale des nombres aléatoires
     =',I11//)
      STOP
      END
```

Le sous-programme VOLUME produit les valeurs de production VHA(I,J) et les taux d'accroissement GHA(I,J) de chaque classe de station I et de chaque classe d'âge J.

```
      SUBROUTINE VOLUME(IC,IV,YNY,ER,VHA,GHA)
      VIRTUAL VHA(3,225),GHA(3,225)
      BYTE YNY,YES
      DATA YES/'Y'/
      WRITE(5,10)
      WRITE(2,10)
10    FORMAT(///' Choisir la fonction de production à employer pour ce
      test :
     1'//'   1.  Tables de production de Plonski pour l'épinette noire'/
     2'       (volume marchand en m**3/ha)'/
     3'  2.  Tables de production de Plonski pour le pin rouge'/
     4'       (volume marchand en m**3/ha)'/
     5'  3.  Réservé à un usage futur'//
     6' ENTRER votre choix (1, 2 ou 3) :  ',$)
      READ(5,*) IV
      WRITE(2,*) IV
      DO 55 I=1,IC
      S=I
```

```
      DO 55 J=1,225
      VHA(I,J)=0.
      GHA(I,J)=0.
      A=J-1
      IF(J.EQ.1) A=ER
      GO TO (20,30,40),IV
20    G=3.38096+.787593*S-.140768E-5*A**3-.471908*S*S+.00235218*A*S*S
      F=-265.848+3.38096*A+.787593*A*S-.351920E-6*A**4+156.416*S-
     1319.415*ALOG(S)-.471908*A*S*S+.00117609*A*A*S*S
      GO TO 50
30    G=358.995/A-22.8768*S/A-2.18347+2.90039*ALOG(S)/A+.311790E-2*A*S
     1-.694506E-3*A*S*S
      F=-920.299+358.995*ALOG(A)-22.8768*S*ALOG(A)-2.18347*A+
     12.90039*ALOG(A)*ALOG(S)+.155895E-2*A*A*S-.347253E-3*A*A*S*S
```

F est la fonction de production (tirée des tables de production de Plonski) et G est la fonction d'accroissement qui constitue le premier dérivé de F.

```
      GO TO 50
40    F=0.
      G=0.
50    IF(J.EQ.1) GO TO 55
      IF(F.LE.0..AND.VHA(I,J-1).EQ.0.) GO TO 55
      VHA(I,J)=AMAX1(F,ER)
      GHA(I,J)=G
```

Les valeurs négatives de G sont légitimes, mais les valeurs négatives de F ne le sont pas. Les valeurs de F égalent 0.1E-10.

```
55    CONTINUE
      WRITE(5,60)
      WRITE(2,60)
60    FORMAT(///' Désirez-vous qu'un fichier de données soit établi pour
      que
     1'    les courbes de production soient tracées (Y/N)?  ',$)
      READ(5,70) N,YNY
70    FORMAT(Q,45A1)
      WRITE(2,75) YNY
75    FORMAT(10X,45A1)
      IF(YNY.NE.YES) RETURN
      OPEN(UNIT=1,NAME='FYIELD.PLT',FORM='FORMATTED',STATUS='NEW')
      GO TO (80,100,120),IV
80    WRITE(1,90)
90    FORMAT(' ÉPINETTE NOIRE')
      GO TO 140
100   WRITE(1,110)
110   FORMAT(' PIN ROUGE')
      GO TO 140
120   RETURN
140   WRITE(1,145)
145   FORMAT(' VOLUME MARCHAND (M**3/HA)'/' PLONSKI (1974)')
      DO 170 I=1,IC
```

```
      DO 160 J=1,225
      IF(VHA(I,J).LE.ER) GO TO 160
      WRITE(1,150) J,VHA(I,J)
150   FORMAT(I4,F8.2)
160   CONTINUE
      J=-1
      E=-1.
170   WRITE(1,150) J,F
      CLOSE(UNIT=1)
      WRITE(5,180)
      WRITE(2,180)
180   FORMAT(//' Les données de traçage des courbes de production sont '/
     1'  emmagasinées au fichier FYIELD.PLT (Format :  F4.0,F8.2)')
      RETURN
      END
```

Le sous-programme PFIRE attribue une proportion relative FP(I,J) à la superficie de chaque classe de station I et de chaque classe d'âge J qui brûlera pendant toute année. Cette proportion peut être fixe (IFR = 1) ou variable selon I et J (IFR = 2). La superficie de toute combinaison de classes d'âge et de classes de stations qui brûle effectivement pendant toute année dépendra de la superficie totale brûlée. Celle-ci peut être fixe (IAF = 1) ou tirée au hasard d'une distribution de Weibull précise (IAF = 2). La fonction F est illustrée à la figure 3, et un exemple de distribution de Weibull est présenté à la figure 2.

```
      SUBROUTINE PFIRE (IC,IV,IAF,IFR,YNF,PF,FP,WB,WC,AR)
      DIMENSION AR(3)
      VIRTUAL FP(3,225)
      BYTE YNF,YES
      DATA YES/'Y'/
      WRITE(5,10)
      WRITE(2,10)
10    FORMAT(///' La proportion relative de la superficie d'une classe'/
     1'   d'âge qui est brûlée pendant toute année peut être : '//
     2'   1.  Constante'/'  2.  Variable en fonction de la classe
          d'âge'//
     3'   et de station.  ENTRER votre choix (1 ou 2) :  ',$)
      READ(5,*) IFR
      WRITE(2,*) IFR
      IF(IFR.NE.1) GO TO 30
      DO 20 I=1,IC
      DO 20 J=1,225
20    FP(I,J)=1.
      GO TO 60
30    DO 40 I=1,IC
      S=I
      DO 40 J=1,225
      A=J-1
      IF(J.EQ.1) A=.0001
      GO TO (34,34,36),IV
34    F=.0284+.5047E-11*A**5-.9224E-4*A*A+.0007492*ALOG(A)-.3353E-8*A**4
     1+.003540*A-.4139E-8*A**3*S+.8554E-6*A**3+.7035E-4*A*S
```

```
      F=F*.1
      GO TO 40
36    F=1.
40    FP(I,J)=F
60    WRITE(5,70)
      WRITE(2,70)
70    FORMAT(///' Désirez-vous qu'un fichier de données soit établi pour
      que
     1'/'   des courbes de probabilité d'incendie par âge de peuplement
      soient tracées (Y/N)?  ',$)
      READ(5,80) N,YNF
80    FORMAT(Q,45A1)
      WRITE(2,85) YNF
85    FORMAT(10X,45A1)
      IF(YNF.NE.YES) GO TO 205
      OPEN(UNIT=1,NAME='FPFIRE.PLT',FORM='FORMATTED',STATUS='NEW')
      GO TO (90,110,130),IV
90    WRITE(1,100)
100   FORMAT(' ÉPINETTE NOIRE')
      GO TO 150
110   WRITE(1,120)
120   FORMAT(' PIN ROUGE')
      GO TO 150
130   WRITE(1,140)
140   FORMAT(' RÉSERVÉ À UN USAGE FUTUR')
150   WRITE(1,160)
160   FORMAT(' PROBABILITÉ D'INCENDIE'/' COURBES')
      DO 190 I=1,IC
      DO 170 J=1,225
      IF(FP(I,J).GT.1.) FP(I,J)=1.
      IF(FP(I,J).LT.0.) FP(I,J)=0.
170   WRITE(1,180) J,FP(I,J)
180   FORMAT(I4,F8.4)
      J=-1
      F=-1.
190   WRITE(1,180) J,F
      WRITE(5,200)
      WRITE(2,200)
200   FORMAT(///' Les données de traçage des courbes de probabilité'/
     1'   d'incendie sont emmagasinées au fichier FPFIRE.PLT (Format : '/
      F4.0,F8.4)')
      CLOSE(UNIT=1)
205   WRITE(5,210)
      WRITE(2,210)
210   FORMAT(///'  La proportion de la superficie totale qui brûle
      pendant'
     1/'   toute année peut être : '//'    1.  Constante'/
     2'    2.  Variable selon une distribution de Weibull'//
     3'    ENTRER votre choix (1 ou 2) : ',$)
      READ(5,*) IAF
      WRITE(2,*) IAF
      PF=0.
      WB=0.
      WC=0.
```

```
      IF(IAF.EQ.2) GO TO 230
      WRITE(5,220)
      WRITE(2,220)
220   FORMAT (//' ENTRER le pourcentage de la superficie totale qui '/
     1'   brûle chaque année : ',$)
      READ(5,*) PF
      WRITE(2,*) PF
      PF=PF*.01
      RETURN
230   WRITE(5,240)
      WRITE(2,240)
240   FORMAT(//' ENTRER les paramètres <<B>> et <<C>> de la
      distribution'/
     1/'   de Weibull :  CDF = 1-exp[-(X/B)**C]'//
     2' X correspondant à la proportion de la superficie qui est
      brûlée'//
     3' p. ex., ENTRER 0.001,0.4 :  ',$)
      READ(5,*) WB,WC
      WRITE(2,*) WB,WC
      RETURN
      END
```

Les paramètres des différentes options d'aménagement forestier sont introduits au terminal à l'aide du sous-programme en question. Pour aider l'utilisateur, une description des options et des fonctions de chaque paramètre est présentée à l'écran au moment de l'entrée. Le fichier SUBR.TXT (UNITÉ = 11) est un fichier de texte comprenant la majeure partie des renseignements visés.

```
      SUBROUTINE MANAGE(IC,IH,MHA,MHO,MINA,AAC,HMIN,PSALV,ISALV,FSALV,
     1YNH,COMPF,IAV,ALO,AMN,AUP,VLO,VUP)
      DIMENSION MHA(3),MHO(3)
      BYTE YNH,YES,ITXT(80)
      DATA YES/'Y'/
      WRITE(2,4)
      WRITE(5,4)
4     FORMAT(/20X)
      DO 10 I=1,20
      READ(11,5) N,ITXT
5     FORMAT(Q,80A1)
      WRITE(2,7) (ITXT(J),J=1,N)
7     FORMAT(1H+,80A1)
10    WRITE(5,7) (ITXT(J),J=2,N)
      WRITE(2,4)
      WRITE(5,4)
      READ(5,*) IH
      WRITE(2,*) IH
      WRITE(2,4)
      WRITE(5,4)
      IAV=0
      IF(IH.LT.4) GO TO 18
      DO 15 I=21,39
      READ(11,5) N,ITXT
```

```
      WRITE(2,7) (ITXT(J),J=1,N)
15    WRITE(5,7) (ITXT(J),J=2,N)
      WRITE(2,4)
      WRITE(5,4)
      READ(5,*) IAV
      WRITE(2,*) IAV
      IF(IAV.EQ.2) GO TO 1504
      WRITE(2,1500)
      WRITE(5,1500)
1500  FORMAT(//' ENTRER la superficie (ha) à récolter chaque année et les
     1'/'  limites inférieure et supérieure (p. ex., 1200,800,2000) : '/)
      READ(5,*) AMN,ALO,AUP
      WRITE(2,*) AMN,ALO,AUP
      WRITE(2,1502)
      WRITE(5,1502)
1502  FORMAT(/' ENTRER les limites inférieure et supérieure du volume'/
     1'  (m**3) à récolter chaque année (p. ex., 100000,125000) : '/)
      READ(5,*) VLO,VUP
      WRITE(2,*) VLO,VUP
      AAC=(VLO+VUP)*.5
      GO TO 18
1504  WRITE(2,1506)
      WRITE(5,1506)
1506  FORMAT(//' ENTRER le volume (m**3) à récolter chaque année et les
     1'/'  limites inférieure et supérieure (p. ex.,
      120000,100000,125000) : '/)
      READ(5,*) AAC,VLO,VUP
      WRITE(2,*) AAC,VLO,VUP
      WRITE(2,1508)
      WRITE(5,1508)
1508  FORMAT(/' ENTRER les limites inférieure et supérieure de la
      superficie
     1'/'(ha) à récolter chaque année (p. ex., 800,2000) : '/)
      READ(5,*) ALO,AUP
      WRITE(2,*) ALO,AUP
      AMN=(ALO+AUP)*.5
18    WRITE(5,20)
      WRITE(2,20)
20    FORMAT(//' Désirez-vous l'option de récupération (Y/N)?  ',$)
      READ(5,30) N,YNH
30    FORMAT(Q,45A1)
      WRITE(2,40) YNH
40    FORMAT(10X,<N>A1/)
      WRITE(5,4)
      IF(1H.GT.3) GO TO 44
      DO 42 I=21,39
42    READ(11,5) N,ITXT
44    DO 45 I=40,59
      READ(11,5) N,ITXT
      WRITE(2,7) (ITXT(J),J=1,N)
45    WRITE(5,7) (ITXT(J),J=2,N)
      WRITE(2,4)
      WRITE(5,4)
      READ(5,*) COMPF
```

```
      IF(COMPF.LE.0.) COMPF=100.
      WRITE(2,*) COMPF
      COMPF=COMPF*.01
      GO TO (160,50,50,120,120),IH
50    WRITE(5,60)
      WRITE(2,60)
60    FORMAT(//' ENTRER l'âge auquel les peuplements <<surmatures>> de'/
     1'  chaque classe de station doivent être récoltés : '/)
      DO 80 I=1,IC
      WRITE(5,70) I
70    FORMAT('  Classe de station',I3,' :  ',$)
      READ(5,*) MHA(I)
      IF(MHA(I).GT.225) MHA(I)=225
80    WRITE(2,90) I,MHA(I)
90    FORMAT('  Classe de station',I3,I5)
      IF(1H.NE.3) GO TO 160
      WRITE(5,100)
      WRITE(2,100)
100   FORMAT(//' ENTRER l'âge d'exploitabilité de chaque classe de'/
      station : '/)
      DO 110 I=1,IC
      WRITE(5,70) I
      READ(5,*), MHO(I)
110   WRITE(2,90) I,MHO(I)
      GO TO 160
120   WRITE(5,140)
      WRITE(2,140)
140   FORMAT(//' ENTRER le volume minimum à récolter (m**3/ha) :  ',$)
      READ(5,*) HMIN
      WRITE(2,*) HMIN
      WRITE(5,150)
      WRITE(2,150)
150   FORMAT(//' ENTRER l'âge minimum de récolte : ',$)
      READ(5,*) MINA
      WRITE(2,*) MINA
160   IF(YNH.NE.YES) RETURN
      WRITE(5,170)
      WRITE(2,170)
170   FORMAT(//' ENTRER le pourcentage du bois ravagé par le feu qui
      peut'/
     1'   être récupéré : ',$)
      READ(5,*) PSALV
      WRITE(2,*) PSALV
      PSALV=PSALV*.01
      WRITE(5,180)
      WRITE(2,180)
180   FORMAT(//' ENTRER la période de récupération (<5 ans) : ',$)
      READ(5,*) ISALV
      WRITE(2,*) ISALV
      IF(ISALV.GT.4) ISALV=4
      GO TO (250,190,210,230),ISALV
190   WRITE(5,200)
      WRITE(2,200)
```

```
200     FORMAT(//' (Les deux tiers sont récupérés pendant la première
        année et un tiers, pendant la deuxième année)')
        GO TO 250
210     WRITE(5,220)
        WRITE(2,220)
220     FORMAT(//' (La moitié est récupérée pendant la première année, un'/
       1' tiers pendant la deuxième année, et un sixième pendant la'/
        troisième année)')
        GO TO 250
230     WRITE(5,240)
        WRITE(2,240)
240     FORMAT(//' (La moitié est récupérée pendant la première année, un'/
       1' quart pendant la deuxième année, et un huitième pendant chacune
        des troisième et quatrième années)')
250     WRITE(5,260)
        WRITE(2,260)
260     FORMAT(//' ENTRER le pourcentage de la superficie brûlée pendant'/
       1' toute année à laquelle s'ajoutera celle de la coupe de'/
        récupération : ',$)
        READ(5,*) FSALV
        WRITE(2,*) FSALV
        FSALV=FSALV*.01
        RETURN
        END
```

Le sous-programme TABLE produit sur demande (YNT = <<Y>>) des tableaux de distribution par classe d'âge à des intervalles (IINT) précisés par l'utilisateur. Le nombre d'années (ICLASS) que comprend chaque classe d'âge doit également être précisé. Les sorties sont emmagasinées au fichier AGECLA.TAB, dont on peut facilement faire imprimer les données.

```
      SUBROUTINE TABLE(IC,IYR,ITEST,TEST,DATE,LINES,ICLASS,A,V)
      DIMENSION A(3,225),IND(3),SA(3),SV(3)
      VIRTUAL V(3,225)
      INTEGER*4 IA(3),IV(3)
      BYTE TEST(8)
      JL=0
      MAX=0
      DO 10 I=1,IC
      DO 10 J=1,225
      IF(A(I,J).GT.0..AND.J.GT.MAX) MAX=J
10    CONTINUE
      IF(LINES.LT.54) GO TO 60
      DO 30 I=1,IC
30    IND(I)=I
      WRITE(4,40) (TEST(I),I=1,ITEST),DATE,(IND(I),I=1,IC)
40    FORMAT(1H1,110X,'Test No. :  ',<ITEST>A1/111X,'Date : ',F8.4//
     110X,'Classe de station : ',I14,4I17)
      WRITE(4,50)
50    FORMAT(/10X,'Année, Échelle d'âge',<IC>(' Volume par superficie
     1')/15X,'classe           ',<IC>('   (ha)  (m**3/ha)')/)
      LINES=7
60    DO 95 I=1,MAX,ICLASS
```

```
      M=1+[CLASS-1
      DO 70 J=1,IC
      SA(J)=0.
      SV(J)=0.
      DO 70 K=I,M
      SA (J)=SA(J)+A(J,K)
70    SV(J)=SV(J)+V(J,K)
      DO 75 J=1,IC
      IA(J)=SA(J)+.5
75    IV(J)=SV(J)+.5
      IF(JL/10*10.NE.JL) GO TO 85
      WRITE(4,80)
80    FORMAT(20X)
      LINES=LINES+1
85    IF(LINES.LT.54) GO TO 90
      WRITE(4,40) (TEST(L),L=1,ITEST),DATE,(IND(L),L=1,IC)
      WRITE(4,50)
      LINES=7
90    JL=JL+1
      WRITE(4,100) IYR,JL,I,(IA(J),IV(J),J=1,IC)
100   FORMAT(10X,I4,2I5,'-'5(I8,I9))
95    LINES=LINES+1
      RETURN
      END
```

Le sous-programme PLOTAC produit sur demande (YNP = <<Y>>) un fichier de sortie (AGECLA.PLT) qui peut être exploité à l'aide des programmes de bibliothèque de l'institut afin de faire produire, par le traceur ZETA8, des histogrammes des distributions par classe d'âge. Il n'est pas nécessaire que le nombre d'années que comprend chaque classe d'âge (JCLASS) et l'intervalle entre les histogrammes successifs (JINT) soient les mêmes que ceux des résultats sur tableau.

```
      SUBROUTINE PLOTAC(IC,IYR,ITEST,TEST,DATE,JCLASS,A,AMAX,YSAS)
      DIMENSION A(3,225)
      BYTE TEST(8),YSAS,YES
      DATA YES/'Y'/
      WRITE(1,10) (TEST(I),I=1,ITEST),DATE,IYR
10    FORMAT(' DISTRIBUTION PAR CLASSE D'ÂGE'/' TEST :  ',<ITEST>A1,3X,
      'DATE : ',
     1F8.4/' ANNÉE : ',I4)
      MAX=0
      DO 15 I=1,IC
      DO 15 J=1,225
      IF(A(I,J).GT.0..AND.J.GT.MAX) MAX=J
15    CONTINUE
      DO 50 I=1,IC
      DO 30 J=1,MAX,JCLASS
      SA=0.
      M=J+JCLASS-1
      DO 20 K=J,M
20    SA=SA+A(I,K)
      IF(SA.GT.AMAX) AMAX=SA
      K=J-1
```

```
      IF(YSAS.EQ.YES) WRITE(12,25) IYR,I,K,SA,DATE,(TEST(L),L=1,ITEST)
25    FORMAT(3I5,F10.1,F10.4,1X,<ITEST>A1)
30    WRITE(1,40) K,SA,M,SA
40    FORMAT(I4,F8.0)
      SA=0.
      WRITE(1,40) M,SA
      K=-1
      SA=-1.
50    WRITE(1,40) K,SA
      RETURN
      END
```

Il s'agit probablement de la partie la plus complexe du programme FIRFOR. Le sous-programme HARV détermine les combinaisons de classes d'âge et de station qui feront l'objet d'une récolte selon différentes options d'aménagement et de récupération.

```
      SUBROUTINE HARV(IC,IH,MHA,MHO,ER,AAC,VHARV,HSALV,A,V,P,AREG,
     1VHA,GHA,VSALV,YNH,COMPF,MINA,HMIN,ASUM,ASALV,SALVA,AHARV,
     2IAV,ALO,AMN,AUP,VLO,VUP)
      DIMENSION MHA(3),MHO(3),AREG(3),HSALV(5),A(3,225),ASALV(5)
      VIRTUAL P(3,225),V(3,225),VHA(3,225),GHA(3,225)
      BYTE YNH,YES
      DATA YES/'Y'/
10    DO 20 I=1,IC
      DO 20 J=1,225
      IF(VHA(I,J).GT.0..AND.VHA(I,J).LE.ER) P(I.J)=1.
```

Cette instruction permet de voir à ce que toute classe d'âge comprenant des arbres morts soit intégrée à la superficie récoltée pendant l'année courante et soit régénérée.

```
20    CONTINUE
      GO TO (90,30,30,60,60),IH
30    DO 50 I=1,IC
      K=MHA(I)
      DO 40 J=K,225
      P(I,J)=COMPF
      IF(A(I,J).LE.1.) P(I,J)=1.
40    CONTINUE
      IF(IH.EQ.2) GO TO 50
      P(I,MHO(I))=COMPF
      IF(A(I,MHO(I)).LE.1.) P(I,MHO(I))=1.
50    CONTINUE
      GO TO 90
```

Cette section a pour but de voir à ce que tous les peuplements dont l'âge est supérieur à l'âge MHA(I) prescrit pour chaque classe de station soient récoltés (options 2 et 3). Dans le cas de l'option 3, les peuplements qui ont atteint l'âge d'exploitabilité MHO(I) sont également récoltés.

```
60    ZV=0.
      ZA=0.
```

```
      IF(YNH.NE.YES) GO TO 70
      ZV=HSALV(1)
      SA=ASALV(1)
C***  ZA et ZV correspondent à la superficie et au volume de la coupe
C***      effectuée jusqu'à présent
70    IF(IAV.EQ.1.AND.ZA.GE.AMN.AND.ZV.LE.VUP.AND.ZV.GE.VLO.OR.
     1IAV.EQ.2.AND.ZV.GE.AAC.AND.ZA.LE.AUP.AND.ZA.GE.ALO) GO TO 90
```

Aux fins des options d'aménagement 4 et 5, la longue et complexe instruction IF sert à vérifier si l'on a répondu à toutes les conditions de la coupe annuelle prescrite. Dans l'affirmative, on achève la fixation des récoltes. Si les récoltes sont fixées selon la superficie (IAV = 1), on vérifie si la superficie ZA, prévue pour la récolte jusqu'à présent, est supérieure à la superficie minimum ALO. Si elle l'est, et que le volume de récolte prévu ZV entre dans la marge permise (VLO -VUP), une superficie suffisante a été fixée. Pareillement, si la récolte est fixée selon le volume (IAV = 2), on vérifie si ZV est supérieure au volume minimum VLO et que la superficie correspondante entre dans la marge permise (ALO - AUP). Si elle ne répond pas à toutes ces conditions, la fixation de la récolte se poursuit grâce au sous-programme MAXVOL, qui sert à choisir la combinaison suivante des classes de stations et d'âge (II,JJ) à récolter.

```
      CALL MAXVOL(IC.IV,MINA,II,JJ,HMIN,VHA,GHA,V,ER)
      IF(II.EQ.0) GO TO 90
      VIJ=V(II,JJ)
      AIJ=A(II,JJ)
      VC=VIJ
      AR=AIJ
      IF(AR.LE.1.) GO TO 75
      VC=VC*COMPF
      AR=AR*COMPF
      IF(IAV.EQ.1) PC=AMAX1((ALO-ZA)/AIJ,AMIN1((AMN-ZA)/AIJ,
     1(VUP-ZV)/VIJ),AMIN1((AUP-ZA)/AIJ,(VLO-ZV)/VIJ))
      IF(IAV.EQ.2) PC=AMAX1((VLO-ZV)/VIJ,AMIN1((AAC-ZV)/VIJ,
     1(AUP-ZA)/AIJ),AMIN1((VUP-ZV)/VIJ,(ALO-ZA)/AIJ))
```

Les instructions IF ci-dessus servent à calculer la proportion PC de la combinaison (II,JJ) à récolter. Si la récolte est fixée par superficie (IAV = 1) et que la superficie ZA est inférieure à la superficie minimale permise (ALO), la proportion (ALO-ZA)/AIJ assurerait une superficie de récolte égale au minimum. Si ZA est supérieure à ALO mais inférieure à la superficie de récolte prescrite (AMN), la proportion (AMN-ZA)/AIJ permettrait de voir à ce que la superficie récoltée atteigne celle qui est prescrite. Toutefois, s'il devait en découler que le volume ZV dépasse la limite supérieure de volume VUP, la proportion serait restreinte à (VUP-ZV)/VIJ. Si ZV est inférieur à la limite inférieure de volume VLO, la proportion (VLO-ZV)/VIJ permettrait de voir à ce que le volume récolté soit égal ou minimum. Toutefois, s'il devait en découler un dépassement de la limite supérieure de superficie (AUP), la proportion à récolter serait restreinte à (AUP-ZA)/AIJ.

On procède par un raisonnement semblable pour déterminer la valeur de PC si la récolte est fixée selon le volume (IAV = 2).

Quelle que soit la façon dont on calcule la valeur PC, elle doit toujours être supérieure à 0 mais ne doit pas nécessairement être inférieure à 1. Les deux instructions suivantes ont pour but de voir à ce que PC entre dans cette marge.

```
      IF(PC.LT.0.) PC=0.
      IF(PC.GT.1.) PC=1.
      P(II,JJ)=PC
      IF(PC.LT.COMPF) GO TO 90
      P(II,JJ)=COMPF
      IF(AIJ.LE.1.) P(II,JJ)=1.
      ZV=ZV+VC
      ZA=ZA+AR
      V(II,JJ)=-VIJ
```

Les superficies de moins de 1 ha sont toujours récoltées intégralement. On attribue au volume de la combinaison (II,JJ) une valeur négative afin qu'elle ne soit pas jugée à récolter au cours des passages suivants du sous-programme MAXVOL.

```
      GO TO 70
C***  Calculer la récolte effective
```

À ce stade, on attribue à chaque combinaison de classes de stations et d'âge une proportion P(I,J) à récolter. La majeure partie des combinaisons auront la valeur 0, quelques-unes auront une valeur se situant entre 0 et COMPF (facteur d'observance des règles), et les autres auront la valeur COMPF. Dans la section suivante, on calcule les superficies et les volumes de récolte selon cette information.

```
90    VSALV=0.
      SALVA=0.
      IF(YNH.NE.YES) GO TO 120
      VSALV=HSALV(1)
      SALVA=ASALV(1)
      DO 100 I=1,4
      ASALV(I)=ASALV(I+1)
100   HSALV(I)=HSALV(I+1)
      ASALV(5)=0.
      HSALV(5)=0.
120   VHARV=VSALV
      AHARV=SALVA
      DO 130 I=1,IC
      AREG(I)=0.
      DO 130 J=1,225
      V(I,J)=ABS(V(I,J))
      IF(P(I,J).LE.0.) GO TO 130
      IF(V(I,J).LE.0.) GO TO 125
      H=P(I,J)*V(I,J)
      V(I,J)=V(I,J)-H
      VHARV=VHARV+H
```

```
125       H=A(I,J)*P(I,J)
          ASUM=ASUM+H
          AREG(I)=AREG(I)+H
          AHARV=AHARV+H
          A(I,J)=A(I,J)-H
130       CONTINUE
          RETURN
          END
```

Le sous-programme MAXVOL identifie la combinaison suivante de classes de stations et d'âge (II,JJ) dont la récolte doit être prévue. Aux fins de l'option 4, il s'agira de la combinaison ayant le volume par hectare le plus élevé parmi celles dont la récolte n'a pas déjà été prévue [V(I,J)0]. Aux fins de l'option 5, il s'agira de celle dont l'accroissement par hectare est le plus faible.

```
          SUBROUTINE MAXVOL(IC,IH,MINA,II,JJ,HMIN,VHA,GHA,V,ER)
          VIRTUAL VHA(3,225),GHA(3,225),V(3,225)
          II=0
          JJ=0
          VMAX=0.
          GMIN=99999.
          L=JMAXO(1,MINA)
          DO 20 I=1,IC
          DO 20 J=L,225
          IF(V(I,J).LE.ER.OR.VHA(I,J).LT.HMIN) GO TO 20
          IF(IH.EQ.5) GO TO 10
          IF(VHA(I,J).LE.VMAX) GO TO 20
          VMAX=VHA(I,J)
          II=I
          JJ=J
          GO TO 20
10        IF(GHA(I,J).GT.GMIN) GO TO 20
          GMIN=GHA(I,J)
          II=I
          JJ=J
20        CONTINUE
          RETURN
          END
```

Le programmeur expérimenté en FORTRAN reconnaîtra que ce programme n'est pas le plus efficace : on pourrait incontestablement y apporter des modifications de manière à réduire la quantité de codes et à accélérer certaines sections. Toutefois, le programme a été mis au point au cours d'une période de plusieurs mois où, comme il arrive souvent pendant l'élaboration des programmes, il a subi des additions, des suppressions et des modifications. Le programme a fait l'objet d'essais approfondis, bien que nullement exhaustifs, et semble fonctionner de façon satisfaisante. C'est pourquoi on hésite à y apporter des changements qui ne sont pas indispensables.

Pour aider davantage l'utilisateur, nous présentons une liste et des descriptions des principales variables du programme à l'annexe II.

Tableau I-1. Fichiers d'entrée et de sortie du modèle FIRFOR

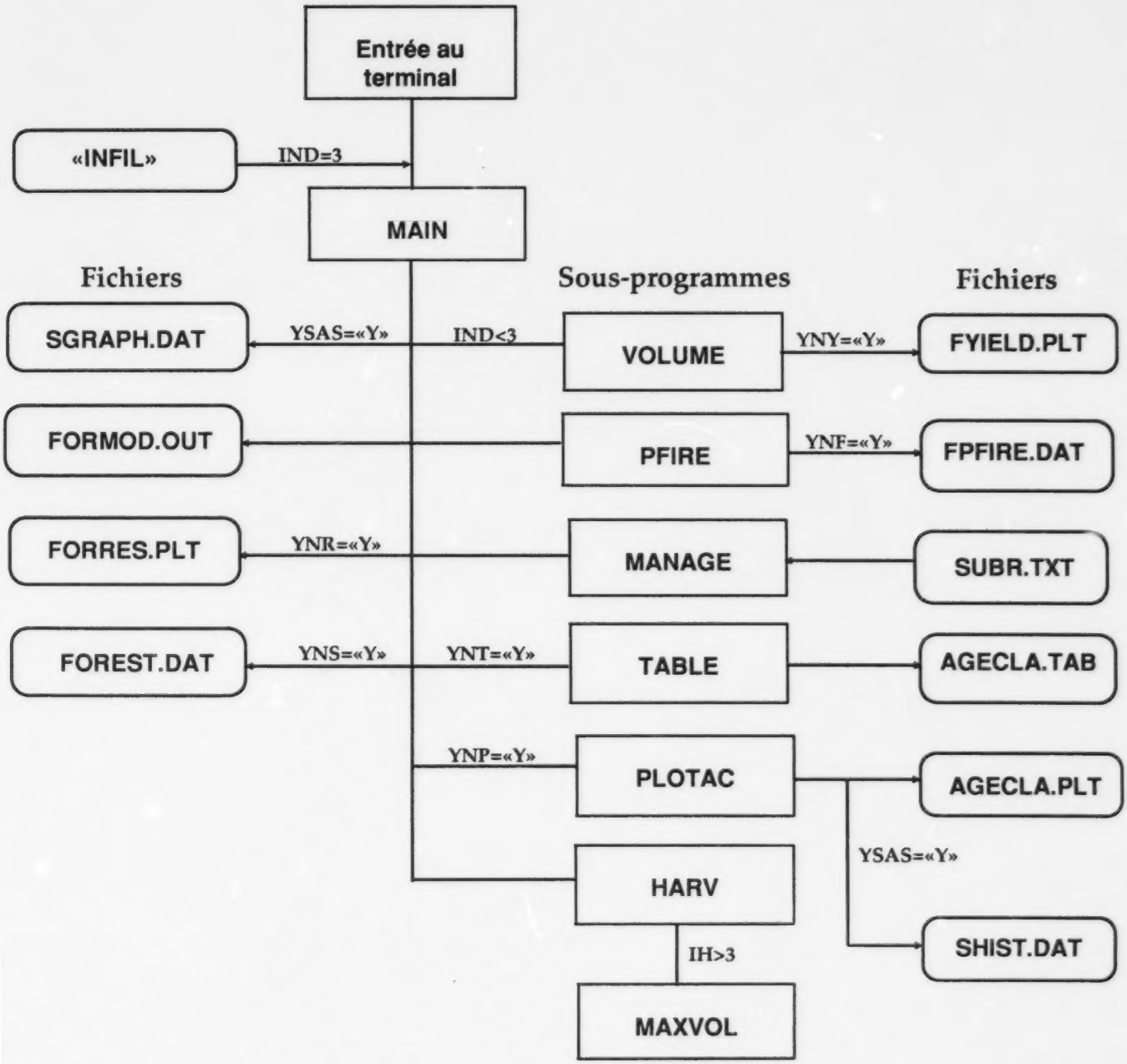
Nom du fichier	N° d'unité	I/O[1]	État	Description
AGECLA.PLT	1	O	YNP=<<Y>>	Données de traçage des histogrammes de distribution par classe d'âge selon la procédure de traçage de l'IFNP.
AGECLA.TAB	4	O	YNT=<<Y>>	Liste des tableaux de distribution par classe d'âge.
FOREST.DAT	1	O	YNS=<<Y>>	Données sur l'état final de la forêt (devant servir d'entrées aux fins d'un autre test - voir <<INFIL>>).
FORMOD.INP	2	O		Liste d'entrées à effectuer au terminal.
FORMOD.OUT	3	O		Liste des résultats à la fin de chaque période (superficie brûlée, volume restant, accroissement, etc.).
FORRES.PLT	2	O	YNR=<<Y>>	Données de traçage des résultats selon la procédure de traçage de l'IFNP.
FPFIRE.PLT	1	O	YNF=<<Y>>	Données de traçage de la proportion relative de la superficie brûlée, par âge, selon la procédure de traçage de l'IFNP.
FYIELD.PLT	1	O	YNY=<<Y>>	Données de traçage de courbes de production selon la procédure de traçage de l'IFNP.
<<INFIL>>	9	I	IND=3	Données sur la forêt initiale, (<<INFIL>> est d'ordinaire le fichier FOREST.DAT produit au cours d'un test antérieur).
SGRAPH.DAT	10	O	YSAS=<<Y>>	Données de traçage des résultats selon la procédure de traçage SAS/GRAPH.

Tableau I-1 (suite)

Nom du fichier	N° d'unité	I/O[1]	État	Description
SHIST.DAT	12	O	YSAS=<<Y>> et YNP=<<Y>>	Données de traçage d'histogrammes de distribution par classe d'âge selon la procédure de traçage SAS/GRAPH.
SUBR.TXT	11	I		Fichier de texte servant à afficher l'information à l'écran du terminal au moment de l'introduction des données.

[1]Entrée (I) ou sortie (O).

ORGANIGRAMME SOMMAIRE DU PROGRAMME FIRFOR



TEST 1

Imprimé des fichiers de sortie :

FORMOD.OUT et AGECLA.TAB.

1-5V. TEST 1 : OPTION 5-V - CAP = 125000 M**3/ANNÉE.

Type de forêt : ÉPINETTE NOIRE

F O R Ê T I N I T I A L E

Classe de station	Superficie (ha)	Volume marchand (M**3)
1	25000	2013331
2	50000	1327534
3	25000	459673
TOTAL	100000	3800538

Valeurs de départ des nombres aléatoires :

Initiale : 886332245
Au début de la simulation : 886332245

La récolte annuelle est fixée selon le VOLUME.

Récolte annuelle prévue (M**3) = 125000
Marge de volume (m**3) = 120000 - 130000
Marge de superficie (ha) = 600 - 1000

Le volume prévu sera récolté chaque année pourvu que la superficie de récolte entre dans la marge prescrite. Si nécessaire, le volume sera rajusté jusqu'à ce que la superficie entre dans cette marge.

Test : 1-SE
Date : 86.1202

Année	Période	Superficie brûlée (%)	Superficie brûlée (ha)	Superficie récoltée (ha)	Superficie récupérée (ha)	Superficie totale récoltée (ha)	Volume marchand (m**3) Restant	Récolté	Récupéré	Bois ravagé par le feu Récolté	Bois ravagé par le feu Total	Bois ravagé par le feu Récupérable	Accroissement
1	1-	0,13	132	4253	0	4253	3886062	625000	0	625000	4056	0	719581
2	6-	0,29	286	4259	0	4259	3958906	620000	0	620000	8914	0	701758
3	11-	0,96	957	4824	0	4824	3993577	620000	0	620000	20077	0	684748
4	16-	1,62	1621	4203	274	4476	4028307	611419	8581	620000	51017	8581	680585
5	21-	1,17	1172	4029	0	4029	4079328	625000	0	625000	36995	0	713006
6	26-	0,77	771	4151	0	4151	4163797	623712	0	623712	24864	0	733045
7	31-	0,79	790	4113	0	4113	4260688	624715	0	624715	25676	0	747282
8	36-	0,41	411	3423	0	3423	4361823	630000	0	630000	13740	0	744075
9	41-	0,23	228	3826	0	3826	4491463	625000	0	625000	7909	0	762469
10	46-	3,42	3420	3846	602	4449	4509363	604024	20976	625000	119241	20977	728169
11	51-	0,08	83	3948	0	3948	4621358	620000	0	620000	2928	0	734915
12	56-	5,85	5847	3489	726	4215	4528833	598823	26177	625000	210804	52353	690925
13	61-	27,32	27324	2371	3816	6186	3723772	483738	137160	620898	979260	244746	520777
14	66-	0,82	817	2846	3739	6586	3781735	481239	133761	615000	26810	0	432251
15	71-	0,98	978	4111	0	4111	3675677	625000	0	625000	38267	0	547309
16	76-	2,44	2438	3673	432	4105	3525043	608380	11620	620000	69800	13949	511926
17	81-	5,69	5686	3286	1420	4706	3290767	578342	36658	615000	195831	34334	413239
18	86-	2,88	2879	3395	552	3947	3094093	612311	12689	625000	66175	15227	469123
19	91-	5,61	5609	3448	1266	4715	2889516	587639	27361	615000	120486	29788	426187
20	96-	0,33	326	3386	231	3617	2798836	630035	4965	635000	8795	0	381135
21	101-	0,14	135	4780	0	4780	2711974	615995	0	615995	2771	0	531904
22	106-	4,18	4176	3538	403	3941	2511366	611955	8045	620000	83325	16089	486427
23	111-	2,19	2191	3844	403	4248	2351960	611955	8045	620000	42178	0	486432
24	116-	0,25	252	4542	0	4542	2278416	625000	0	625000	4708	0	556164
25	121-	0,92	922	4600	0	4600	2263660	620000	0	620000	17039	0	622883
26	126-	0,58	584	4157	0	4157	2378835	498772	0	498772	11351	0	625348
27	131-	0,56	556	2822	0	2822	2670721	360844	0	360844	11962	0	604642
28	136-	0,05	49	2837	0	2837	3027117	387946	0	387946	1172	0	795514
29	141-	0,54	541	4727	0	4727	3146758	617988	0	617988	13929	0	751550
30	146-	0,37	374	5709	0	5709	3293157	605000	0	605000	9827	0	781226
31	151-	0,22	221	5011	0	5011	3435260	610000	0	610000	6162	0	758269
32	156-	0,24	243	4525	0	4525	3563395	620265	0	620265	7114	0	799516
33	161-	0,73	728	5321	0	5321	3679363	607562	0	607562	21835	0	745383
34	166-	0,38	380	5051	0	5051	3823185	610000	0	610000	11649	0	785471
35	171-	1,86	1856	4665	312	4977	3941190	605154	9846	615000	58941	9846	772254
36	176-	4,72	4719	4700	1172	5872	3988027	566571	38429	605000	154812	38429	729791
37	181-	0,36	362	4183	0	4183	4098971	623681	0	623681	12087	0	746712
38	186-	1,64	1640	3710	262	3973	4149447	616269	8731	625000	54695	8731	712709
39	191-	0,57	566	4856	0	4856	4187427	620000	0	620000	18875	0	676855
40	196-	0,05	52	4084	0	4084	4226888	625000	0	625000	1697	0	680158
41	201-	4,27	4269	4233	474	4707	4168760	599678	15322	615000	138041	30645	664269
42	206-	1,27	1266	3959	756	4213	4229387	600626	24374	625000	40744	9052	677623
43	211-	6,38	6383	4316	1292	5607	4118945	571909	41720	613629	206105	50865	629937
44	216-	16,42	16415	3392	2466	5860	3692083	536744	78256	615000	519291	129299	558917
45	221-	0,17	167	3911	1078	5209	3704520	555612	59388	615000	4957	[illegible]	513618
46	226-	1,81	1809	3328	363	3691	3588795	614893	10107	625000	30404	[illegible]	539465
47	231-	0,79	790	3540	73	3612	3494059	622979	2021	625000	20516	0	546738
48	236-	4,26	4261	3438	611	4049	3319027	611757	15280	627037	106610	25242	528055
49	241-	0,74	735	3086	398	3484	3223737	620039	9961	630000	17422	0	532910
50	246-	0,49	485	3626	0	3626	3185494	625000	0	625000	11373	0	598130
51	251-	4,29	4289	3909	1056	4977	3095517	599946	25054	615000	100782	25054	575697
52	256-	0,81	812	3709	0	3709	3047095	625000	0	625000	19035	0	595813
53	261-	7,06	7064	3735	1628	5363	2884153	571842	38158	610000	185536	40282	536210
54	266-	3,80	3795	3898	91	3989	2755266	622866	2134	625000	86480	17948	578325
55	271-	0,72	721	3965	788	4753	2767699	602052	17948	620000	16290	0	612827
56	276-	1,79	1793	4181	283	4464	2775517	613495	6505	620000	41360	6505	606160
57	281-	1,79	1788	5382	135	5517	2782830	596827	3173	600000	41899	6345	642866
58	286-	1,16	1160	5126	135	5261	2781106	601827	3173	605000	27093	6840	624023
59	291-	1,25	1258	4321	284	4606	2791522	613360	6640	620000	29091	6906	646227
60	296-	1,51	1512	5243	298	5541	2767437	608094	6906	615000	34569	6876	611672
Moyennes:		0,48	477	806	95	901	3486832	110996	2864	121860	14000	2886	129553

1-5V. TEST 1 : OPTION 5-V - CAP = 125000 M**3/ANNÉE.

Les tableaux de distribution par classe d'âge sont emmagasinés au fichier AGECLA.TAB.

Valeur de départ finale des nombres aléatoires = -408225207

N° du test : 1-5V
Date : 86.1202

Classe de station			1		2		3	
Année	Classe d'âge	Marge	Superficie (ha)	Volume (m**3/ha)	Superficie (ha)	Volume (m**3/ha)	Superficie (ha)	Volume (m**3/ha)
0	1	1-	6043	0	11875	0	8266	0
0	2	26-	6066	171421	15267	0	4455	0
0	3	51-	8014	914849	13559	411382	4629	1081
0	4	76-	4877	927062	9300	916152	5475	275647
0	5	101-	0	0	0	0	2174	182945
25	1	1-	6538	0	11410	0	7269	0
25	2	26-	5747	177411	11277	0	7842	0
25	3	51-	5796	669839	14536	265958	4235	1555
25	4	76-	6920	1328482	12778	1379238	4454	158219
25	5	101-	0	0	0	0	1200	98624
50	1	1-	6639	0	13224	0	4428	0
50	2	26-	6109	169297	10641	0	6765	0
50	3	51-	5404	647754	10576	334154	7320	3948
50	4	76-	5540	1094638	13824	1330694	4017	141011
50	5	101-	1308	315255	1735	262591	2471	210021
75	1	1-	11970	0	23536	0	11857	0
75	2	26-	4001	106255	7859	0	2648	0
75	3	51-	3809	447437	6477	180969	4031	5075
75	4	76-	3903	788208	7457	818635	4958	185302
75	5	101-	1316	316256	4671	708018	1506	119521
100	1	1-	8315	0	17374	0	6692	0
100	2	26-	9783	283846	19272	0	9626	0
100	3	51-	3285	379362	6407	180270	2135	1837
100	4	76-	3297	657298	5551	590926	3424	146874
100	5	101-	320	76777	1397	208743	3123	272903
125	1	1-	7500	0	13950	0	6853	0
125	2	26-	7633	236613	15912	0	6110	0
125	3	51-	9011	1076005	17666	418335	8803	4154
125	4	76-	856	146566	2473	206818	1989	70250
125	5	101-	0	0	0	0	1245	104917
150	1	1-	8041	0	11625	0	2548	0
150	2	26-	7334	185353	13628	0	6687	0
150	3	51-	7461	893224	15539	479029	5962	4269
150	4	76-	2164	410289	9208	865059	8635	363259
150	5	101-	0	0	0	0	1168	92674

N° du test : 1-5V (suite)
Date : 86.1202

Classe de station			1		2		3	
Année	Classe d'âge	Marge	Superficie (ha)	Volume (m**3/ha)	Superficie (ha)	Volume (m**3/ha)	Superficie (ha)	Volume (m**3/ha)
175	1	1-	5349	0	15475	0	6664	0
175	2	26-	7707	235617	11147	0	2436	0
175	3	51-	7059	801409	13098	354993	6425	16438
175	4	76-	4885	926819	10280	1007434	5783	264350
175	5	101-	0	0	0	0	3692	334130
200	1	1-	6454	0	13372	0	8711	0
200	2	26-	4954	119612	14224	0	6220	0
200	3	51-	7033	850636	10129	208818	2212	4704
200	4	76-	6559	1284552	12152	1285160	5954	292007
200	5	101-	0	0	123	17748	1904	163651
225	1	1-	10155	0	20490	0	11977	0
225	2	26-	4447	169803	9144	0	5874	0
225	3	51-	3514	399244	10042	345407	4229	936
225	4	76-	5542	1122436	7730	761499	1696	85286
225	5	101-	1342	322934	2594	397182	1225	99793
250	1	1-	8392	0	11619	0	4449	0
250	2	26-	9256	228157	18655	0	10876	0
250	3	51-	4069	514667	8325	269192	5337	21260
250	4	76-	3283	643422	9366	1054983	3901	118296
250	5	101-	0	0	2035	298645	437	36873
275	1	1-	8188	0	20112	0	5672	0
275	2	26-	6944	198271	9597	0	3634	0
275	3	51-	7660	880542	15302	353330	8859	6815
275	4	76-	2208	427752	4989	492336	4592	232590
275	5	101-	0	0	0	0	2243	176064
300	1	1-	8445	0	15497	0	6859	0
300	2	26-	7524	197977	18421	0	5189	0
300	3	51-	6395	756513	8808	258767	3327	3860
300	4	76-	2636	473924	7274	635101	8261	325189
300	5	101-	0	0	0	0	1364	116107

ANNEXE II

Liste des variables du programme en FORTRAN employées aux fins du FIRFOR.

La liste suivante indique les fonctions des principales variables du programme en FORTRAN (annexe I). Les indices I et J indiqués entre parenthèses correspondent toujours respectivement à la classe de station et à la classe d'âge d'un an. Le segment de programme (du programme principal MAIN ou d'un des sous-programmes) indique où une valeur est attribuée pour la première fois à chaque variable ou d'où chaque variable est extraite. S'il y a lieu, on indique les valeurs ou l'échelle des valeurs qu'une variable peut avoir. La description de chaque variable s'applique à tous les segments de programme, sauf indication contraire. Toutes les superficies sont exprimées en hectares et tous les volumes sont des volumes marchands en mètres cubes.

Variable	Segment de programme	Valeurs	Description
A(I,J)	MAIN		Superficie de la classe d'âge J dans la classe de station I. (Aux fins des sous-programmes VOLUME et PFIRE, la variable A est l'âge en années.)
AAC	MANAGE		Récolte annuelle prescrite (IH>3; IAF=2).
AFIR	MAIN		Superficie annuelle brûlée.
AHARV	MAIN		Superficie totale récoltée chaque année.
AIJ	HARV		= A(II,JJ) : superficie de la combinaison suivante de classes de stations et d'âge choisie pour fins de récolte (IH>3).
ALO	MANAGE		Limite inférieure prescrite de la superficie à récolter pendant toute l'année (IH>3).
AMAX	PLOTAC		Superficie maximale de toute combinaison de classes de stations et d'âge que comprennent les histogrammes (YNP=<<Y>>).
AMN	MANAGE		Superficie dont la récolte est prescrite pendant toute année (IH>3; IAF=1).

(suite)

Variable	Segment de programme	Valeurs	Description
AR	HARV		A(I,J) rajustée en fonction du facteur d'observance des règles COMPF (IH>3).
AR(I)	MAIN		Superficie de la classe de station I.
AREG(I)	MAIN		Superficie de la classe de station I devant être régénérée.
ASUM	MAIN		Superficie des arbres sur pied récoltés.
ATOT	MAIN		Superficie totale de la forêt.
AUP	MANAGE		Limite supérieure prescrite de la superficie à récolter pendant toute année (IH>3).
AV(K)	MAIN		Sommes des variables de sortie K listées au fichier FORMOD.OUT. À la fin de la simulation, les variables AV(K) sont divisées par le nombre d'années afin d'obtenir les moyennes correspondantes.
COMPF	MANAGE		Facteur d'observance des règles : degré de respect des options de récolte prescrites.
DATE	MAIN		Date en SI : (AA.MMJJ).
ER	MAIN	0.1E-10	Faible nombre employé parfois au lieu de 0 afin d'indiquer la <<présence>> d'une variable (0 indiquant l'absence).
EP(I,J)	PFIRE		Proportion relative de la classe d'âge J dans la classe de station I qui est brûlée pendant toute année.
FSALV	MANAGE		Proportion de la superficie brûlée pendant toute année qui fera l'objet d'une récupération.
GHA(I,J)	VOLUME		Accroissement annuel par hectare de la classe d'âge J dans la classe de station I (d'après Plonski, 1974).

(suite)

Variable	Segment de programme	Valeurs	Description
GMIN	MAXVOL		Taux d'accroissement annuel minimum et combinaisons de classes d'âge et de station qu'il reste à récolter (IH>3). GMIN peut être <0.
H	MAIN		Fraction de la classe d'âge J dans la classe de station I qui est perdue en raison des incendies.
	HARV		Volume, ou superficie, de la classe d'âge J dans la classe de station I qui est récolté.
HMIN	MANAGE		Volume minimum par hectare récolté.
HSALV(K)	MAIN		Volume de bois brûlé pouvant être récupéré en K années après l'incendie (K<5; la valeur K=5 n'est pas employée actuellement).
IA(I)	TABLE		Version en nombres entiers de SA(I).
IAF	PFIRE	1 ou 2	= 1 si la proportion de la superficie totale annuelle brûlée est constante; = 2 si la proportion est variable en fonction d'une distribution de Weibull.
IAV	MANAGE	1 ou 2	= 1 si la récolte annuelle est fixée par superficie; = 2 si la récolte annuelle est fixée par volume.
IC	MAIN	1, 2 ou 3	Nombre de classes de stations.
ICLASS	MAIN		Nombre d'années que comprend chaque classe d'âge dans les tableaux imprimés de distribution par classe d'âge.
IFR	PFIRE	1 ou 2	= 1 si la proportion relative de la superficie brûlée d'une classe d'âge est constante; = 2 si la proportion varie selon la classe d'âge et de station.
II	MAXVOL		Classe de station à laquelle appartient la classe d'âge suivante à récolter (IH>3).

(suite)

Variable	Segment de programme	Valeurs	Description
IINT	MAIN		Intervalle, en années, entre les périodes sur lesquelles portent les tableaux imprimés de distribution par classe d'âge.
IND	MAIN	1, 2 ou 3	Type de distribution par classe d'âge des données sur la forêt initiale [IND(I) égale I du sous-programme TABLE].
INFIL	MAIN	<20 ch	Nom du fichier (UNIT=9) auquel les données sur la forêt initiale sont emmagasinées (IND=3).
IOUT(K)	MAIN		Échelle servant uniquement à la conversion de variables réelles en nombres entiers pour fins de sortie (K<13).
ISALV	MANAGE	<5	Longueur de la période de récupération en années.
ISEED	MAIN		Valeur de départ des nombres aléatoires (<2147483647).
IV	VOLUME	1, 2 ou 3	Fonction de production employée.
IV(I)	TABLE		Version en nombres entiers de SV(I).
JCLASS	MAIN		Nombre d'années que comprend chaque classe d'âge sur laquelle portent les histogrammes de distribution par classe d'âge.
JINT	MAIN		Intervalle, en années, entre les périodes sur lesquelles portent les histogrammes tracés de distribution par classe d'âge.
JJ	MAXVOL		Classe d'âge suivante choisie pour fins de récolte.
JOUT(K)	MAIN		Échelle servant uniquement à la conversion de variables réelles en nombres entiers pour fins de sortie (K<13).

(suite)

Variable	Segment de programme	Valeurs	Description
KINT	MAIN		Intervalle, en années, entre les périodes sur lesquelles portent les résultats sommaires emmagasinés aux fichiers FORMOD.OUT pour fins d'impression subséquente.
MAGE(I)	MAIN	<225	Classe d'âge d'un an la plus élevée que comprend la classe de station I de la forêt initiale (IND=1 ou 2).
MAX	TABLE		Classe d'âge d'un an la plus élevée que comprend la forêt.
MHA(I)	MANAGE		Âge d'exploitabilité de la classe de station I (IH=2 ou 3).
MHO(I)	MANAGE		Âge auquel les peuplements surmatures de la classe de station I sont récoltés (IH=2 ou 3).
MINA	MANAGE		Âge minimum des peuplements à récolter (IH>3).
NPER	MAIN		Numéro de période (longueur de la période = KINT années).
NYR	MAIN		Nombre d'années sur lequel portera le test.
P(I,J)	HARV		Proportion de la classe d'âge J dans la classe de station I qui sera récoltée.
PF	PFIRE		Proportion fixe de la superficie qui brûlera chaque année (IAF=1).
PSAL/	MANAGE		Proportion du bois brûlé pouvant être récupérée (IH>3).
S	VOLUME	1, 2 ou 3	Classe de station.
SA(I)	TABLE		Superficie totale de la classe de station I. (Aucune valeur n'est attribuée à SA dans le sous-programme PLOTAC).
SALV/	MAIN		Superficie de récupération du bois.

(suite)

Variable	Segment de programme	Valeurs	Description
SV(I)	TABLE		Volume total de la station I. (Aucune valeur n'est attribuée à SV dans le programme principal MAIN.)
TEST	MAIN	<9 ch	Numéro de test (imprimé dans le haut de chaque page de sortie).
TITLE	MAIN	<46 ch	Titre du test.
V(I,J)	MAIN		Volume de la classe d'âge J dans la classe de station I.
VC	HARV		= V(II,JJ) rajusté en fonction du facteur d'observance des règles COMPF (IH>3).
VCUT	MAIN		Volume total du bois récolté.
VFLOSS	MAIN		Volume du bois brûlé.
VFSALV	MAIN		Volume du bois brûlé qui est récupérable (VFSALV=VFLOSS*PSALV).
VGROW	MAIN		Accroissement annuel brut (voir les détails à l'annexe I).
VH	MAIN		Superficie, ou volume, de la classe d'âge J dans la classe de station I qui est perdu à cause du feu.
VHA(I,J)	VOLUME		Volume par hectare de la classe d'âge J dans la classe de station I (d'après Plonski, 1974).
VHARV	MAIN		Initialement et aux fins du sous-programme HARV, VHARV est le volume total récolté. Plus tard, le volume du bois récupéré est soustrait de VHARV, et VCUT devient le volume total récolté.
VIJ	HARV		= V(II,JJ) : volume de la combinaison suivante de classes d'âge et de station choisi pour fins de récolte (IH>3).
VLO	MANAGE		Limite inférieure prescrite du volume à récolter pendant toute année (IH>3).

(suite)

Variable	Segment de programme	Valeurs	Description
VMAX	MAXVOL		Volume maximum par hectare des combinaisons de classes d'âge et de station qu'il reste à récolter (IH>3).
VRES	MAIN		Volume total de la forêt à la fin de l'année.
VSALV	MAIN		Volume du bois récupéré qui entre dans la récolte.
VTOT	MAIN		Volume total de la forêt au début de l'année.
VUP	MANAGE		Limite supérieure prescrite du volume à récolter pendant toute année (IH>3).
WB	PFIRE	>0	Paramètres d'échelle de la distribution de Weibull servant à la prévision annuelle des incendies (IAF=2).
WC	PFIRE	>0	Paramètres de forme de la distribution de Weibull qui sert à la prévision annuelle des incendies (IAF=2).
X	MAIN		Pourcentage de la superficie perdu à cause des incendies.
YES	MAIN		= <<Y>>.
YNF	PFIRE	Y ou N	= <<Y>> si l'on crée un fichier FPFIRE.PLT (UNIT=1) aux fins du traçage de courbes de probabilité des incendies par âge de peuplement.
YNH	MANAGE	Y ou N	= <<Y>> si une proportion du bois brûlé doit être récupérée.
YNP	MAIN	Y ou N	= <<Y>> si l'on doit créer des fichiers AGECLA.PLT (UNIT=1) et SHIST.DAT (UNIT=12) pour tracer des histogrammes de distribution par classe d'âge.
YNR	MAIN	Y ou N	= <<Y>> si l'on doit créer un fichier FORRES.PLT (UNIT=2) pour tracer les résultats; = <<N>> si le traçage doit être effectué selon la procédure SAS/GRAPH (voir YSAS).

(suite)

Variable	Segment de programme	Valeurs	Description
YNS	MAIN	Y ou N	= <<Y>> si l'on désire emmagasiner les données sur l'état final de la forêt au fichier FOREST.DAT (UNIT=1).
YSAS	MAIN	Y ou N	= <<Y>> si l'on doit créer des fichiers SGRAPH.DAT (UNIT=10) et SHIST.DAT (UNIT=12) pour fins de traçage selon la procédure SAS/GRAPH.
YNT	MAIN	Y ou N	= <<Y>> si l'on doit créer un fichier AGECLA.TAB (UNIT=4) pour imprimer des tableaux de distribution par classe d'âge.
YNY	VOLUME	Y ou N	= <<Y>> si l'on doit créer un fichier FYELD.PLT (UNIT=1) pour tracer des courbes de production.
ZA	HARV		Superficie cumulative choisie pour fins de récolte.
ZV	HARV		Volume cumulatif choisi pour fins de récolte.